

Téléphonie mobile & santé

- **Rapport du groupe d'experts**
- **Annexes du rapport**



agence française de sécurité sanitaire environnementale

Avril 2005



Rapport à l'AFSSE sur téléphonie mobile et santé

Edition 2004-2005

Février 2005

Groupe d'experts :

Jean-Marie ARAN

Alain AZOULAY

Pierre BUSER

Frédéric COUTURIER

Jean-Claude DEBOUZY

Isabelle LAGROYE

Michel TERRE

Paolo VECCHIA

Bernard VEYRET

Présidente :

Martine HOURS

Secrétaire scientifique :

Gilles DIXSAUT, AFSSE

Table des Matières

1	Introduction.....	7
2	Méthodes de travail du groupe d'experts	7
3	Rapports et congrès.....	9
3.1	<i>Rapports.....</i>	9
3.1.1	Pays-Bas.....	9
3.1.2	NRPB.....	9
3.1.3	SSI : Agence de Radioprotection Suédoise	10
3.2	<i>Congrès.....</i>	10
3.2.1	Mauï, USA, BEMS, Juin 2003 (www.bioelectromagnetics.org)	10
3.2.2	Reisensburg, Allemagne, COST 281/FGF, barrière hémato-encéphalique, Novembre 03.....	11
3.2.3	Guilin, Chine, OMS, 3 ^{ème} Séminaire sur les champs électromagnétiques, Octobre 2003.....	11
3.2.4	Budapest, Hongrie, EBEA, COST 281, Téléphonie mobile et cerveau, Novembre 03.....	11
3.2.5	Immenstaad, Allemagne, Atelier COST 281/FGF sur le sommeil, Décembre 2003.....	12
3.2.6	Bangkok, Thaïlande, OMS, Janvier 2004	12
3.2.7	Helsinki, Finlande, COST 281FGF, protéines de choc thermique, Avril 2004.....	12
3.2.8	Séville, Espagne, ICNIRP/OMS/URSI et IRPA, Mai 2004.....	12
3.2.9	Istanbul, Turquie, OMS, enfants, Juin 2004.....	12
3.2.10	Washington, DC, USA, BEMS, Juin 04.....	13
3.2.11	ICES/COST 281 Paris, France, Thermorégulation, Septembre 04	13
3.2.12	Moscou, Russie, « Téléphone mobile et santé », Septembre 04.....	14
3.2.13	Prague, Rép. Tchèque, OMS, Hypersensibilité, octobre 04.....	14
3.2.14	Schriesheim, Allemagne, Cancer, Novembre 2004	14
4	Exposition	15
4.1	<i>Evolution des téléphones mobiles</i>	15
4.1.1	Du Radiocom 2000 à l'UMTS.....	15
4.1.2	L'UMTS.....	18
4.1.3	Le W-CDMA.....	18
4.2	<i>Sans fil.....</i>	20
4.3	<i>Usage et déploiement.....</i>	23
4.4	<i>Evolution des systèmes de télécommunications radio</i>	24
4.4.1	Contexte.....	24
4.4.2	Systèmes à très courte portée	25
4.4.3	Systèmes à courte portée	27
4.4.4	Systèmes à moyenne et longue portée.....	27
4.4.5	Systèmes à longue portée et très longue portée.....	29
4.4.6	Conclusion sur les principaux systèmes d'accès radio en développement.....	30
4.5	<i>Dosimétrie, niveaux d'exposition</i>	31
4.5.1	Dosimétrie des téléphones mobiles (GSM, GPRS, EDGE, UMTS)	31
4.5.2	Mesure représentative de l'exposition moyenne des individus en France	33
4.5.3	Cartoradio	36
5	Données sur les effets biologiques et sanitaires des téléphones mobiles.....	38
5.1	<i>Nouvelles données épidémiologiques</i>	38
5.1.1	Tumeurs de la tête	40
5.1.2	Autres pathologies	44
5.1.3	Effets subjectifs.....	44
5.1.4	Utilisation du téléphone mobile lors de la conduite automobile.....	44
5.1.5	Conclusions sur les données épidémiologiques :	45

5.2	<i>Nouvelles données expérimentales sur l'homme</i>	46
5.2.1	Etudes expérimentales sur les effets subjectifs	46
5.2.2	Fonctions cognitives	46
5.2.3	Fonctions physiologiques.....	49
5.2.4	Paramètres biologiques humains.....	51
5.2.5	Etudes de cas	51
5.2.6	Interférences avec la fonction de conduite automobile	51
5.2.7	Conclusions sur les études expérimentales humaines	52
5.3	<i>Nouvelles données sur l'animal</i>	52
5.3.1	Système nerveux et comportement	52
5.3.2	Pathologies neuro-dégénératives	55
5.3.3	Peroxydation, radicaux libres.....	55
5.3.4	Cancers et génotoxicité <i>in vivo</i>	56
5.3.5	Reproduction-développement.....	59
5.3.6	Expression des protéines de choc thermique (HSP).....	61
5.3.7	Yeux.....	61
5.3.8	Audition.....	62
5.3.9	Immunité	63
5.3.10	Conclusions sur les études animales	63
5.4	<i>Etudes cellulaires</i>	64
5.4.1	Génotoxicité	64
5.4.2	Apoptose, gènes et protéines	65
5.4.3	Lipoperoxydation et radicaux libres.....	69
5.4.4	Conclusions sur les études cellulaires	69
5.5	<i>Approches biophysiques et mécanistiques</i>	70
5.6	<i>Interférences avec les implants</i>	70
5.7	<i>Enfants : spécificités (dosimétrie, effets biologiques)</i>	71
5.8	<i>Conclusion sur les terminaux mobiles</i>	74
6	Effets biologiques et sanitaires des stations de base	75
6.1	<i>Epidémiologie</i>	75
6.1.1	Rapport sur St Cyr l'Ecole.....	75
6.1.2	Travaux épidémiologiques	76
6.1.3	Travaux en cours	77
6.2	<i>L'étude TNO</i>	77
6.2.1	Résumé de l'étude TNO	77
6.2.2	Critiques formulées sur l'étude TNO	77
6.2.3	Avis du groupe d'expert	78
6.2.4	Conclusions sur l'étude TNO	80
6.3	<i>Etudes animales</i>	80
6.4	<i>Étude sociologique du CSO</i>	80
6.5	<i>Conclusions sur les stations de base</i>	82
7	Effets biologiques des nouveaux signaux	82
7.1	<i>UMTS</i>	82
7.2	<i>WiFi</i>	82
8	Autres effets	83
8.1	<i>Usage du téléphone mobile et changements sociaux</i>	83
8.2	<i>Effets bénéfiques</i>	84
9	Réglementation et mise en œuvre	84
10	Activité internationale	85
10.1	<i>OMS</i>	85

10.2	<i>Programmes européens</i>	85
10.2.1	Perform A B C.....	85
10.2.2	GUARD "Potential adverse effects of GSM cellular phones on hearing"	86
10.2.3	INTERPHONE	87
10.2.4	REFLEX.....	87
10.2.5	CEMFEC.....	88
10.3	<i>National Toxicology Program (US)</i>	89
10.4	<i>Japon</i>	89
10.5	<i>Corée</i>	89
10.6	<i>Australie</i>	90
10.7	<i>Programmes nationaux en Europe</i>	90
10.7.1	France.....	90
10.7.2	Suisse	91
10.7.3	Grande Bretagne	91
10.7.4	Danemark	92
10.7.5	Allemagne.....	92
10.7.6	Italie	92
10.7.7	Finlande	93
11	Recommandations de recherche	94
11.1	<i>Les travailleurs</i>	94
11.2	<i>Les stations de base</i>	94
11.3	<i>La dosimétrie</i>	95
11.3.1	Les appareils mobiles	95
11.3.2	Les kits main libre	95
11.4	<i>La fondation de recherche</i>	95
12	Recommandations de gestion du risque	95
12.1	<i>Approche de l'OMS</i>	95
12.2	<i>Maîtrise de l'exposition</i>	96
12.2.1	Affichage de DAS et efficacité des terminaux	96
12.2.2	Exposition due au mobile.....	96
12.2.3	Exposition due aux stations de base.....	96
12.3	<i>Enfants</i>	96
12.4	<i>Travailleurs</i>	97
12.5	<i>Conduite automobile</i>	97
13	Communication du risque	97
13.1	<i>Initiatives, résultats</i>	97
13.2	<i>Introduction obligatoire d'une formation santé – environnement</i>	98
14	Résumé	99
14.1	<i>Évaluation du risque</i>	99
14.1.1	Téléphones mobiles.....	99
14.1.2	Stations de base	99
14.1.3	Étude « TNO »	100
14.2	<i>Gestion du risque</i>	100
14.2.1	Téléphones mobiles.....	100
14.2.2	Stations de base	100
15	Bibliographie	101
16	Membres du groupe d'experts	109
17	Acronymes et Abréviations	113
18	Annexes	114

1 INTRODUCTION

Conformément aux missions qui lui ont été conférées par la loi et le plan d'action des pouvoirs publics présenté au Comité national de sécurité sanitaire le 17 décembre 2003 en matière de téléphonie mobile, l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale (Afsse), doit publier régulièrement un document de mise à jour des connaissances scientifiques, dans le domaine spécifique des rayonnements non ionisants de haute fréquence (radiofréquences), utilisés par les systèmes de téléphonie mobile. Le comité d'experts spécialisé dans le domaine des agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements n'étant pas encore installé dans ses fonctions, l'Afsse a créé un groupe d'experts ad hoc, dont les missions sont définies par la lettre de mission de la Directrice Générale de l'Afsse, portée en annexe du rapport. Celles-ci sont d'analyser toutes les publications scientifiques et rapports officiels parus depuis la rédaction et la publication du rapport d'expertise précédent (avril 2003), afin que l'Agence puisse :

- rédiger un nouvel avis sur la plausibilité de l'existence d'un impact sanitaire des rayonnements non ionisants de la téléphonie mobile fondé sur l'état des connaissances,
- évaluer l'état d'avancement des programmes internationaux dans ce domaine,
- repérer les domaines insuffisamment étudiés
- proposer des recommandations en matière de poursuite (ou non) de travaux scientifiques.

Par ailleurs, l'Afsse a demandé à ce même groupe d'experts de donner un avis dûment motivé sur l'étude conduite par l'Institut de Recherche Technologique néerlandais (dite étude TNO) sur certains effets possibles des stations de base de téléphonie mobile, notamment du réseau UMTS. Cette demande est fondée sur une saisine en date du 3 février 2004 du directeur général de la santé et du directeur des études économiques et de l'évaluation environnementale (copie en annexe).

Le présent rapport du groupe d'experts s'inscrit dans un contexte international et national très riche d'activités de recherche et une demande sociétale forte surtout en ce qui concerne les stations de base de la téléphonie mobile. Ce rapport fait le point sur les travaux scientifiques, parus depuis mars 2003, non pris en compte dans le précédent rapport, et concernant tous les travaux de recherche dans le domaine des effets biologiques et sanitaires des rayonnements non ionisants utilisés dans la technologie mobile et dans les nouveaux modes de radiocommunication (à l'exclusion de la radio- et télé-diffusion). Ces travaux se rapportent à l'épidémiologie, aux études expérimentales humaines, aux études in vitro et in vivo et à l'expérimentation animale. Un chapitre particulier fait le point sur les avancées technologiques des réseaux et de la dosimétrie. Le premier chapitre résume les divers rapports officiels parus sur ces sujets dans le monde ainsi que les grandes lignes des communications présentées à l'occasion des colloques et congrès qui se sont tenus depuis mars 2003.

2 METHODES DE TRAVAIL DU GROUPE D'EXPERTS

Pour être pris en compte dans ce rapport, les travaux scientifiques doivent avoir fait l'objet d'une publication écrite dans une revue internationale après avis d'un Comité scientifique de lecture, même si

toutes ces revues ne sont pas de qualité équivalente. La recherche bibliographique a été réalisée (i) par consultation de la bibliographie des rapports internationaux sur le sujet, (ii) par consultation systématique de la revue Bioelectromagnetics d'Avril 2003 à octobre 2004 ; (iii) par consultation des bases de données bibliographiques habituellement utilisées par les scientifiques (liste a) à l'aide mots-clés (liste b), pour les années 2003 et 2004. L'absence de croisement des mots-clé augmente la liste des références (i.e, évite l'exclusion de références par des critères de sélection trop sélectifs). Les références ont été confrontées à celles du précédent rapport pour l'Afsse pour éliminer les doublons. Les rapports d'études importantes rendus publics ont également été analysés. Les communications faites à l'occasion de congrès et colloques, n'ayant pas donné lieu à publication et dont seul un résumé est disponible, n'ont pas été prises en compte.

Chaque article a été examiné à partir de critères de qualité correspondant au champ d'expertise : par exemple en épidémiologie, les critères de qualité reposent sur la représentativité des sujets étudiés, la maîtrise des biais, la qualité du recueil d'informations, le choix des indicateurs d'exposition et la prise en compte des facteurs confondants, la qualité de l'analyse statistique et la puissance de l'étude dépendant notamment du nombre de sujets étudiés... ; en biologie, ces critères concernent la dosimétrie (qualité du système d'exposition, mesures et calcul du DAS), la conception de l'expérience, le traitement statistique des données, et la pertinence des modèles biologiques étudiés).

Le groupe de travail s'est réuni les 2 juillet, 4 octobre, 10 novembre, 14 décembre 2004 et 24 janvier 2005 ; les deux premières réunions ont permis de discuter et préciser les objectifs généraux de l'expertise et les modalités pratiques de son fonctionnement. Chaque expert a été chargé d'analyser les publications parues dans le champ d'expertise qui est le sien : certains champs ont été confiés à deux ou trois experts qui ont alors travaillé en concertation. Les textes rédigés par chacun ont été soumis à l'approbation du groupe au cours de plusieurs réunions de relecture : les conclusions et préconisations ont été rédigées collectivement par le groupe. Les conclusions se sont appuyées sur le poids de la preuve tel que défini par Repacholi dans le cadre de l'OMS : qualité scientifique des études, reproductibilité, cohérence des études entre elles, plausibilité biologique (Repacholi, OMS).

Lorsqu'un expert a jugé nécessaire de consulter une personne extérieure connue pour sa compétence, la prise en compte éventuelle des informations et avis de cette personne extérieure est de la seule appréciation de l'expert : ces informations ne font pas l'objet de comptes-rendus spécifiques dans le rapport.

Liste a : Base de données consultées

Liste b : Mots clés

NCBI (Pubmed)

Medline (Winspurs)

INIS

Psychinfo

Serfile

Sciencedirect

Nioshtic

Embase

Toxline

Femu

Mobile phone

*phone

microwaves

UMTS

WIFI

Bluetooth

Radiofrequency

2.45GHz

GSM

Cdma

Tdma

Fdma

Analogic

EMF

RF

3 RAPPORTS ET CONGRES

3.1 Rapports

Un « rapport sur les rapports », couvrant les mêmes rapports que ceux qui sont décrits ci-dessous vient d'être publié par le NRPB. Il sera consulté avec profit sur le site Internet du NRPB.¹

3.1.1 Pays-Bas

Le conseil de la santé des Pays-Bas publie chaque année une mise au point sur les champs électromagnétiques et la santé (www.gr.nl). Dans la version datée de 2004 (en anglais à partir de la page 63), les thèmes traités concernent les RF des téléphones mobiles et les champs magnétiques de très basse fréquence du transport de l'électricité. Des recommandations de recherche sont fournies (incluant la création d'un centre d'expertise national pour coordonner les actions de recherche) ainsi que des commentaires sur l'utilisation des téléphones mobiles dans des endroits clos, ou sur l'hypersensibilité à l'électricité.

Ce comité avait précédemment affirmé que si le principe de précaution était invoqué, les niveaux d'exposition ne devaient pas nécessairement être diminués, mais, qu'en parallèle, la recherche devait être renforcée. Cette position avait été mal interprétée par des lecteurs et le rapport de 2004 met les choses au point en expliquant que les mesures de précaution ne passent pas nécessairement par une réduction des limites mais bien par une réduction des incertitudes scientifiques grâce à la recherche.

3.1.2 NRPB²

En 2003, le comité consultatif AGNIR³ du NRPB sur les champs non ionisants a publié un rapport sur les RF et la santé.⁴ (www.nrpb.org/publications). Un an plus tard, après une large consultation internationale, le NRPB publiait un rapport majeur sur les bases scientifiques des limites d'exposition entre 0 et 300 GHz.⁵ Au vu de l'autorité majeure de cette agence qui déborde le cadre de la Grande Bretagne, il est certain que ce document qui se conclue par des recommandations de limites d'exposition et de recherche est une référence incontournable.

En janvier 2005, un avis du NRPB est venu s'ajouter aux deux rapports précédents.⁶ Les auteurs ne font pas de bilan exhaustif des données nouvelles mais apportent des conclusions sur l'état des connaissances et font des recommandations de recherche et de gestion du risque. Le rapport concerne essentiellement la téléphonie mobile et le système TETRA.

L'une des conclusions essentielles est que « le NRPB croit que les conclusions principales du Rapport Stewart en 2000 sont toujours valables aujourd'hui et qu'une approche de précaution vis-à-vis des technologies de la téléphonie mobile doit continuer à être adoptée. »

D'autres passages de ce rapport sont cités plus bas.

Un autre rapport récent du NRPB concerne l'exposition du public aux ondes issues des antennes des micro- et pico-cellules.⁷

¹ http://www.nrpb.org/publications/w_series_reports/2005/nrpb_w65.htm

² National Radiological Protection Board

³ Advisory Group on Non Ionizing Radiation

⁴ Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields: Report of an independent Advisory Group on Non-ionising Radiation Documents of the NRPB. Volume 14, n°2

⁵ 2004 Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). Documents of the NRPB. Volume 15, n°3 (2004)

⁶ Mobile Phones and Health (2004) Report by the Board of NRPB. Documents of the NRPB Volume 15 No.5 2004

⁷ http://www.nrpb.org/publications/w_series_reports/2004/nrpb_w62.htm

3.1.3 SSI : Agence de Radioprotection Suédoise

L'agence suédoise SSI⁸ publie à la fin de chaque année le rapport d'un groupe d'experts internationaux faisant le point sur les nouvelles avancées en matière de connaissance dans le domaine "champs électromagnétiques et santé".

Les rapports, rédigés en anglais, sont disponibles sur le site du SSI (www.ssi.se). Le rapport daté de 2004 a été publié en décembre. Il contient en particulier des synthèses sur les sujets suivants : symptômes, fonctions cognitives et neurophysiologie, EEG et sommeil, mémoire et recherches sur les enfants. Les bilans des programmes européens terminés sont évoqués (Perform-B, Cemfec, Reflex) ainsi que les avancées du programme Interphone.

3.2 Congrès

3.2.1 Maui, USA, BEMS, Juin 2003 (www.bioelectromagnetics.org/)

Le congrès annuel de la BEMS (Bioelectromagnetic society) s'est déroulé à Maui du 23 au 27 juin 2003, précédé, le 22 juin, par un colloque ouvert de l'« International Committee of Electromagnetic Safety (ICES) » lié à l'IEEE. Lors de ce colloque de l'ICES, des documents préliminaires ont été présentés sur les différents thèmes liés aux radiofréquences et à la santé. Ils ont été publiés dans une édition spéciale de Bioelectromagnetics. Les manuscrits sont disponibles sur le site Internet du ICES (<http://grouper.ieee.org/groups/scc28/sc4/>).

Plus de 350 participants étaient présents à Maui (contre 390 à Québec en 2002), mais peu d'européens avaient fait le déplacement. Par contre, de nombreux industriels (Motorola, etc.) et des militaires (laboratoires inter-armes de Brooks au Texas) étaient présents.

In vivo, dans le domaine du cancer en particulier, qui constitue la question sanitaire principale vis-à-vis de l'utilisation des téléphones mobiles, on observe une accumulation de résultats négatifs en faveur d'une absence de risque.

En revanche, l'un des thèmes classés comme « urgent » par l'OMS — les études *in vivo* sur la barrière hématoencéphalique — n'a fait l'objet d'aucune présentation. On peut noter également que si un poster a présenté une synthèse des études engagées sur le thème de la sensibilité des enfants, aucun élément de réponse supplémentaire n'a été apporté au cours de ce congrès, au point que dans sa présentation du programme de travail de l'OMS, M. Repacholi n'a fait référence qu'au rapport Steward datant de 1999.

In vitro, les études semblent s'orienter vers la recherche de biomarqueurs pour l'exposition aux RF par l'utilisation des techniques de génomique et protéomique. D'un autre côté, les effets génotoxiques « significatifs » rapportés lors de la session REFLEX ont laissé les scientifiques sceptiques et la qualité contestée des tests biologiques ne doit pas occulter qu'une des hypothèses qui reste à tester est celle de l'intermittence de l'exposition.

Si globalement, une grande majorité des résultats présentés montre l'absence d'effets sanitaires des radiofréquences dans une gamme « raisonnable » de DAS, on peut constater que ce congrès a peu apporté sur le plan scientifique (peu de nouveaux résultats, attente des données issues des études majeures en cours, etc.). En revanche des informations plus politiques ou stratégiques ont été fournies sur l'approche de l'OMS au sujet de la question des études épidémiologiques sur les stations de base,

⁸ Statens strålskyddsinstitut

étendues à toutes les sources RF. Le programme de travail de l'OMS auquel les projets futurs se devront de répondre a également été discuté.

3.2.2 Reisenburg, Allemagne, COST 281/FGF, barrière hémato-encéphalique, Novembre 03

Le thème de cet atelier était : "La barrière hémato-encéphalique: peut-elle être influencée par les RF ?".

Les présentations à cet atelier sont disponibles sur le site du FGF⁹. Les principaux acteurs de la recherche sur les effets des RF sur la barrière hémato-encéphalique étaient réunis pendant trois jours et ont exposé leurs résultats et leurs points de vue. La conclusion était qu'aucun résultat obtenu in vitro ne montre d'effet des RF sur les modèles de barrière hémato-encéphalique et que sur les modèles animaux seules deux équipes en France et en Suède ont montré des effets de perméabilisation mais qui n'ont pas encore été répliqués.

3.2.3 Guilin, Chine, OMS, 3^{ème} Séminaire sur les champs électromagnétiques, Octobre 2003

Lors de ce troisième congrès organisé par l'OMS en Chine, les travaux chinois récents ont été présentés et des discussions animées ont porté sur l'établissement des valeurs limites d'exposition en Chine. En Chine, la prise en compte des nombreux résultats positifs nationaux n'est pas aujourd'hui "contrebalancée" par l'ensemble des données obtenues à l'échelle mondiale, largement négatif.

3.2.4 Budapest, Hongrie, EBEA, COST 281, Téléphonie mobile et cerveau, Novembre 03

Le congrès bisannuel de l'EBEA (European bioelectromagnetics association) s'est déroulé à Budapest du 12 au 15 novembre 2003, suivi, les 15 et 16 novembre, par un colloque ouvert du COST 281 sur le thème « Mobile telecommunication and the brain », au cours duquel un résumé du colloque de Reisenburg sur la barrière hémato-encéphalique (novembre 2003) a été présenté.

Environ 250 participants étaient présents, majoritairement des Européens qui, pour la plupart, étaient absents à la BEMS 2003 à Hawaii. Le colloque du COST 281 a rassemblé environ 100 personnes.

Quelques éléments nouveaux ont été apportés lors des congrès qui se sont déroulés à Budapest :

La prééminence de la recherche européenne dans ce domaine a été confirmée. Le démarrage des programmes EMF-NET et EIS en est la preuve. L'accent est mis maintenant sur la mise en forme des résultats récents ou à venir et sur la communication du risque.

Les études relatives à une augmentation potentielle de la sensibilité des enfants constituent une priorité difficile à mettre en œuvre. Les efforts vont donc être poursuivis chez l'homme et l'animal. Le congrès de l'OMS d'Istanbul en juin 2004 devait permettre de faire le point.

Les études récentes portant sur les symptômes subjectifs ont été faites surtout en configuration « station de base » (nécessité de dosimètres individuels) : il s'agit là d'une recherche en réponse aux demandes sociétales alors que les niveaux d'exposition correspondants sont négligeables...

Les sujets les plus débattus restent actuellement la BHE (barrière hémato encéphalique) et les protéines de choc thermique (HSP) : de nombreuses études ont été réalisées mais les controverses subsistent bien que les résultats soient plutôt négatifs. Sur ces thèmes, de nombreuses études de réplication ou de conformation sont en cours ou prévues.

9 www.fgf.de/english/fup/meeting/thema/reisenburg_rapport_franke_engl.pdf

3.2.5 Immenstaad, Allemagne, Atelier COST 281/FGF sur le sommeil, Décembre 2003

Lors de cet atelier organisé par le COST 281 et le FGF, des résultats ont été présentés sur le sommeil et les certaines fonctions cognitives. Ces données sont reprises plus bas dans le rapport. Il est à noter que les caractéristiques d'exposition et d'enregistrement des paramètres du sommeil ne sont pas harmonisées entre laboratoires et que les réplifications ont été souvent négatives au sein d'un même laboratoire. Le programme Perform C en cours de réalisation à Stockholm devrait aider à voir plus clair en ce qui concerne ce type d'études humaines.

3.2.6 Bangkok, Thaïlande, OMS, Janvier 2004

Plus de 140 chercheurs et représentants des gouvernements asiatiques issus de 24 pays de la région Asie-Pacifique ont assisté à la "EMF Conference on Electromagnetic Fields, Research, Health Effects, and Standards Harmonization" à Bangkok, en Thaïlande, en janvier 2004. Des programmes de recherche ont été identifiés dans 3 pays : Chine, Corée, Japon.

3.2.7 Helsinki, Finlande, COST 281FGF, protéines de choc thermique, Avril 2004

Un atelier du COST 281/FGF a été organisé à Helsinki au sujet des recherches récentes sur les protéines de choc thermique (HSP en anglais). Aucun résultat nouveau n'a été présenté et D. de Pomerai a admis que ses résultats antérieurs sur les nématodes n'étaient pas à prendre en compte car les réplifications effectuées depuis sa publication dans Nature se sont révélées négatives.

3.2.8 Séville, Espagne, ICNIRP/OMS/URSI et IRPA, Mai 2004

Pour la première fois, le symposium de l'ICNIRP était organisé avec l'OMS et l'URSI10. Ce congrès a permis aux 250 participants de découvrir un panorama très complet des résultats de recherche dans toute la gamme de fréquence des champs non ionisants dans les domaines de l'environnement et des applications thérapeutiques. Ce symposium était suivi du congrès de l'IRPA11 à Madrid au cours duquel de nombreuses sessions sur les champs non ionisants étaient organisées.

3.2.9 Istanbul, Turquie, OMS, enfants, Juin 2004

Les objectifs du congrès étaient :

- d'inscrire la thématique «champs magnétiques et santé » dans la démarche de précaution initiée par l'Union européenne et l'Organisation Mondiale de la Santé en matière d'expositions environnementales des enfants.

- d'élaborer un programme de recherches

Dans son discours d'introduction, M. Repacholi, responsable du programme EMF de l'OMS a rappelé l'historique des documents relatifs à une éventuelle sensibilité des enfants aux champs électromagnétiques supérieure à celle des adultes. Dans la gamme des radiofréquences, le premier document ayant suggéré une telle sensibilité est le rapport « Stewart » dans lequel était mis en avant le principe de précaution car (i) le cerveau des enfants susceptibles d'utiliser un téléphone mobile est encore en développement, et (ii) l'absorption des ondes dans les tissus cérébraux des enfants est vraisemblablement plus importante que dans ceux des adultes (propriétés diélectriques différentes). Plus récemment, un rapport du Ministère de la santé hollandais concluait que le principe de précaution ne

10 Union RadioScientifique Internationale

11 International Radiation Protection Association

pouvait être invoqué dans la mesure où il était improbable d'observer des modifications majeures dans la sensibilité du cerveau aux ondes électromagnétiques après l'âge de 2 ans. Cependant, force est de constater que les données expérimentales disponibles sont fort peu nombreuses en la matière. Ainsi, aucune conclusion motivée sur la possibilité que les enfants soient plus sensibles aux radiofréquences que les adultes n'est possible aujourd'hui.

Ainsi, il apparaît aujourd'hui difficile d'apporter des réponses claires à la question d'une sensibilité accrue des enfants aux expositions à des radiofréquences de faible puissance. Il existe encore trop d'inconnues, trop peu d'études ayant utilisé des protocoles spécifiques pour répondre à cette question. La question de base jusqu'à présent a été celle de la possibilité de l'existence d'effets biologiques des RF de faible puissance, chez l'adulte (homme et animal). Or, les enfants sont de grands utilisateurs de téléphones mobiles : en Allemagne par exemple, 88% des enfants de 11 à 15 ans possèdent un téléphone dont 66% depuis plus d'un an.

Cependant, en l'absence d'études spécifiques permettant d'identifier une sensibilité plus importante des enfants à une exposition RF, les recommandations d'exposition de l'ICNIRP ne seront pas modifiées (P. Vecchia). Pour autant, l'évaluation du risque lié à des expositions RF de faible puissance doit se poursuivre en incluant ce nouvel aspect dans le cadre global de la protection des enfants contre les agents chimiques et physiques présents dans l'environnement.

C'est pourquoi, à l'issue de ces deux jours de travail, l'OMS a élaboré une proposition de priorités de recherche et (i) encourage les explorations (EEG, test cognitifs, sommeil) chez les enfants, dans le respect des règles éthiques nationales, (ii) recommande des expérimentations incluant des expositions in utero et/ou post-natales, ainsi que des expositions prolongées d'animaux immatures. Le développement et la maturation du cerveau, de la barrière hémato-encéphalique et du système immunitaire devront être étudiés en priorité (Voir en annexe les recommandations de recherche de l'OMS pour les enfants).

3.2.10 Washington, DC, USA, BEMS, Juin 04

Le 26ème congrès de la Bioelectromagnetics Society (BEMS) a été organisé à Washington DC en juin 2004. Il a rassemblé 360 participants.

Le nombre de membres nord-américains de la BEMS diminue lentement en raison de l'absence de financement fédéral. L'âge moyen de ces chercheurs s'élève régulièrement car rares sont les équipes américaines nouvelles qui se lancent dans ce type de recherche.

Cette édition du congrès de la BEMS 04 n'était pas un « grand cru ». Cela était déjà vrai en 2003. On peut donc s'interroger sur (i) la pertinence de l'organisation de tels congrès sur une base annuelle, (ii) le ralentissement, probablement irréversible, de l'activité de recherche dans ce domaine aux USA (iii) l'absence des épidémiologistes, (iv) la part encore modeste des applications médicales.

L'essentiel de l'activité de recherche, qui est effectuée en Europe, concerne l'environnement électromagnétique et la santé.

3.2.11 ICES/COST 281 Paris, France, Thermorégulation, Septembre 04

L'objectif de cette réunion internationale était de développer des techniques appropriées pour prévoir les réponses thermo-physiologiques des personnes exposées aux champs micro-onde en fonction des fréquences spécifiques, de l'intensité des champs et de leurs caractéristiques. Une validation des connaissances préexistantes sur la réponse thermorégulatrice en fonction de l'environnement (travail, âge, vêtements, etc.) a été associée à une comparaison aux résultats déjà connus chez l'animal ou l'homme.

3.2.12 Moscou, Russie, « Téléphone mobile et santé », Septembre 04

Lors de ce nouveau congrès russe organisé sous le patronage de l'OMS, quelques groupes de recherche russes ont présenté leurs activités, malgré leurs faibles moyens actuels, ils restent écoutés en raison de leur expérience ancienne. Le problème de la validité des valeurs limites d'exposition russes et le projet de répliation des travaux soviétiques anciens sur l'immunité qui servent de justification scientifique à ces limites ont été discutés en détail.

Le comité organisateur qui dirige la commission russe sur les champs non ionisants¹² a publié un communiqué¹³ demandant à ce que des approches de précaution soient mises en œuvre pour les enfants utilisateurs de téléphones mobiles.

3.2.13 Prague, Rép. Tchèque, OMS, Hypersensibilité, octobre 04

L'ensemble de la communauté scientifique, sous la présidence de L'Organisation Mondiale de la Santé, a fait le point sur les connaissances relatives aux hypersensibilités dues aux champs électromagnétiques. En faisant le constat que seules des preuves scientifiques tangibles pouvaient être retenues pour aborder ce problème au delà des tensions passionnelles qui y sont rattachées. De nombreuses recherches sont actuellement en cours surtout en Suisse, en Italie, en Autriche, en Grande Bretagne, dans les pays scandinaves et les pays de l'Europe de l'Est. La France ainsi que les Etats Unis ne considèrent pas ce problème comme un impératif de santé publique. De nombreux groupes de pressions sont très actifs en particulier en Europe du Nord et ont pour objectifs de faire reconnaître officiellement cette pathologie en tant que nouvelle maladie environnementale émergente. Les conclusions de ce congrès ne sont pas parvenues encore à ce stade ; tous les symptômes décrits étant atypiques.

C'est un sujet porteur, car de nombreuses inquiétudes existent au sein de l'opinion publique, il est habilement contrôlé par certains groupes de pression. Peu d'avis de psychiatres se sont exprimés ce qui semble regrettable car l'ensemble des symptômes décrits apparaît comme une cristallisation et donc une manifestation d'un mal être environnemental ou sociétal.

L'absence d'une définition médicale de cette hypersensibilité contribue à sa non reconnaissance dans le milieu médical international. De plus, la preuve scientifique de la relation causale entre exposition et troubles cliniques n'est pas clairement démontrée.

3.2.14 Schriesheim, Allemagne, Cancer, Novembre 2004

Le Cost 281 et le FGF ont organisé en novembre 2004 un congrès sur le thème « Les champs RF peuvent-ils augmenter le risque de cancer ? » à Schriesheim en Allemagne (publié sur le site du FGF : www.fgf.de). Les thèmes principaux étaient l'épidémiologie, les études de cancérogenèse animale et une revue sur les études de génotoxicité chez l'animal et les cellules.

La très grande majorité des études de génotoxicité, de cancérogenèse et d'épidémiologie des cancers est négative. Cependant, dans chacune de ces thématiques, on peut trouver des études positives comme celles de (i) *Lai et Singh* pour la génotoxicité chez l'animal, (ii) *Repacholi et coll.* pour la cancérogenèse chez la souris transgénique et (iii) *Hardell et coll.* ou plus récemment *Lönn et coll.*, pour l'épidémiologie des cancers.

12 RNCNIRP

13 www.pole.com.ru/news_en.htm#About%20Russian%20National%20Committee

On peut déplorer que des études positives, comme celle ayant montré des effets génotoxiques chez l'animal, soient encore prises pour référence alors que tous les travaux de réplication, ou étroitement liés au protocole initial, n'ont pu confirmer les résultats initiaux.

Par ailleurs, que ce soit en épidémiologie ou en expérimentation animale, la taille des échantillons (de population ou d'animaux) est souvent jugée trop faible pour permettre la détection d'un effet de faible amplitude. Cependant, les mesures prises pour limiter l'expérimentation animale et le coût d'études de grande ampleur doivent être pris en compte pour la conception des protocoles d'étude. Des études multicentriques, comme les programmes européens, devraient permettre de telles approches. On ne peut que souhaiter que soient réalisées des études utilisant de bons protocoles, de bons modèles et une puissance statistique suffisante pour satisfaire pleinement les besoins pour l'analyse du risque de cancer lié aux radiofréquences de la téléphonie mobile.

Ce congrès était prématuré dans la mesure où les résultats des programmes européens, en particulier Perform A et Cemfec (voir chapitre 10-2), ne sont pas encore – ou seulement partiellement- disponibles et il apparaît à l'heure actuelle difficile de conclure.

En résumé, la conclusion d'un épidémiologiste de renom (Savitz ; *Epidemiology* 15:651-652 (2004)) est que le risque de cancer attribuable aux radiofréquences (de la téléphonie mobile) est passé, en particulier avec *l'étude de Lönn et coll. (2004)*, de « très fortement improbable » à « fortement improbable ».

4 EXPOSITION

4.1 Evolution des téléphones mobiles

4.1.1 Du Radiocom 2000 à l'UMTS

Si le tout début du XX^{ème} siècle a vu la naissance des radiocommunications (premiers essais de télégraphie sans fil menés par Edouard Branly en décembre 1902 à Auderville), il faudra attendre la fin du XX^{ème} pour que les radiocommunications mobiles atteignent largement le grand public. Les années 80 ont ainsi vu apparaître 2 réseaux nationaux de téléphonie mobile, Radiocom 2000 (système de radiotéléphonie analogique commercialisé par France Télécom Mobile) et un système dérivé du système nordique NMT développé par SFR.

L'évolution technologique des téléphones mobiles de deuxième génération (2G) dont le GSM est le système « phare », a été préparée à la fin des années 80 dans la perspective de voir un système de radiocommunications cellulaire émerger au plan mondial. En effet, malgré sa popularité et son très important développement, le GSM, d'origine européenne ne peut se targuer d'être totalement mondial et à vocation universelle (voix et données) : d'abord, il existe des systèmes concurrents (comme, le CDMA IS-95 aux Etats Unis ou le PHS au Japon). De plus, si les bandes de fréquence ont été harmonisées en Europe et en Asie, cela n'est pas le cas aux Etats Unis, où le GSM s'appelle PCS et est affecté à d'autres bandes de fréquences que celles utilisées en Europe. (Tableau I).

Système	Voie Montante (MHz)	Voie Descendante (MHz)	Largeur canal (kHz)	Nombre de canaux
GSM (GSM900)	890-915	935-960	200	124
E-GSM (GSM900)	880-890	925-935	200	50
DCS (GSM1800)	1710-1785	1805-1880	200	374

Tableau I : Bandes de fréquences attribuées au GSM en Europe et en Asie

Les réseaux cellulaires terrestres se sont développés de façon intensive à travers le monde au détriment des réseaux de télécommunications mobiles par satellites qui correspondent à un marché plus étroit. On appelle réseau cellulaire un réseau où le territoire à couvrir par le réseau est divisé en cellules élémentaires (Figure 1), chacune équipée d'une station de base permettant de communiquer avec les téléphones mobiles ou appareils communicants situés dans la cellule.

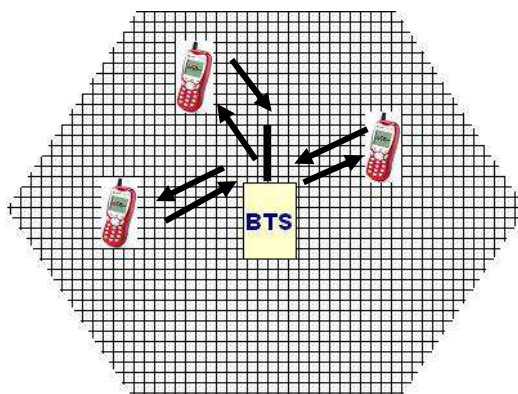


Figure 1 : Principe de la cellule radioélectrique

Contrairement aux signaux intermittents émis par les terminaux, les stations de base GSM émettent, au moins sur une fréquence, un niveau stable en permanence, à puissance constante (la voie balise ou fréquence « BCCH ») qui permet l'identification et la mesure de champ par le mobile ; lorsqu'il y a de nombreuses communications à écouter, la station de base utilise alors plusieurs fréquences. Les fréquences autres que la voie balise sont soumises au contrôle de puissance et les signaux émis sur ces dernières sont intermittents. Il s'agit essentiellement des canaux de trafic (TCH) : ces signaux sont variables suivant le nombre d'utilisateurs et le type de transmission (voix ou données GPRS) (Figure 2)

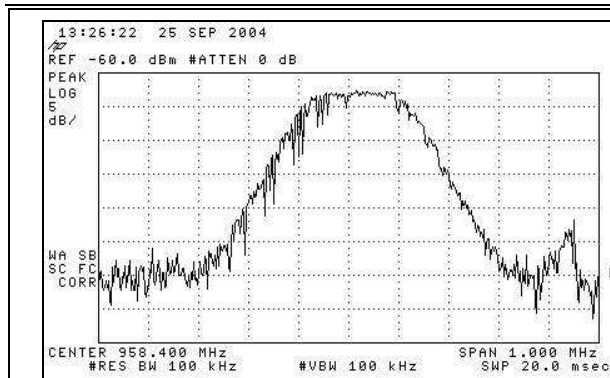


Figure 2a : Exemple de spectre de signal permanent de balise émis par une station de base GSM (voie Balise)

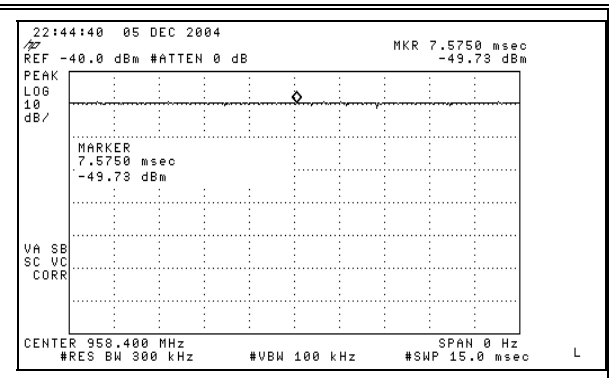


Figure 2b : Exemple d'évolution temporelle du signal de balise émis par une station de base GSM

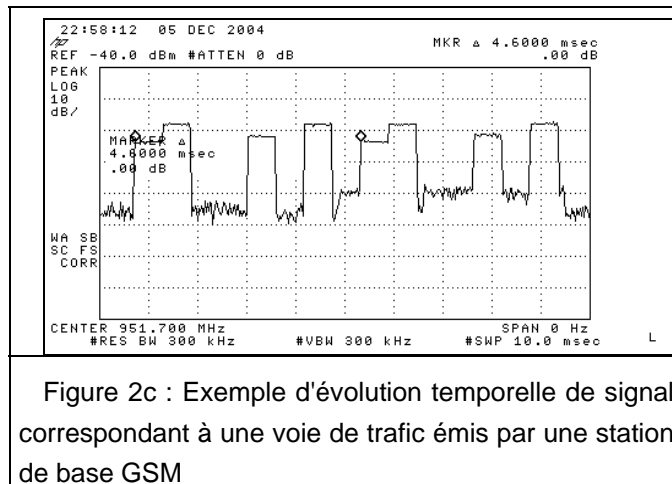


Figure 2c : Exemple d'évolution temporelle de signal correspondant à une voie de trafic émis par une station de base GSM

Les canaux GSM sont espacés de 200 kHz. La correspondance entre les numéros de canaux (appelés "ARFCN") et les fréquences centrales est donnée par les formules suivantes (Tableau II)

Systeme	Canaux n	Fréquence montante(MHz)	Fréquence descendante (MHz)
GSM 900	1 à 124	$F = 890 + (0,2 \times n)$	$F = 935 + (0,2 \times n)$
E-GSM	975 à 1024	$F = 890 + (0,2 \times (n - 1024))$	$F = 935 + (0,2 \times (n - 1024))$
GSM 1800	512 à 885	$F = 1710,2 + (0,2 \times (n - 512))$	$F = 1805,2 + (0,2 \times (n - 512))$

Tableau II : Relations entre fréquences et canaux GSM

Cette évolution a d'abord connu une étape intermédiaire avec la technologie dite 2,5 G qui permet d'augmenter les débits de transfert de données (GPRS, EDGE) initialement très faibles en GSM, sans changer les infrastructures radioélectriques et globalement les signaux radiofréquences échangés.

Le GPRS et EDGE se distinguent par l'utilisation de plusieurs intervalles de temps de trafic destinés à augmenter le débit, le GPRS ayant la particularité de conserver la même modulation initiale que le GSM (GMSK) alors que EDGE implique des modifications de modulation, en utilisant une modulation plus efficace 8PSK qui permet d'augmenter notablement les débits de données par rapport au GPRS.

Puis, cette évolution a été poursuivie au sein de l'Union Internationale des Télécommunications dans le cadre d'une action dite IMT-2000 qui malheureusement n'a pas pu déboucher sur un système unique. Toutefois, au plan mondial, on a privilégié la technologie dite CDMA (Code Division Multiplex Access) à large bande.

En Europe, c'est l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), qui a été défini par le forum « 3GPP » et l'ETSI alors qu'aux Etats Unis, c'est une technologie similaire mais non compatible qui a été choisie, à travers le CDMA 2000.

Enfin, au Japon, NTT Docomo a lancé en avant première, une technologie similaire à l'UMTS mais non compatible appelée FOMA. Après une période d'hésitation, il semble que la population japonaise commence à utiliser massivement le système FOMA.

4.1.2 L'UMTS

L'UMTS s'appuie donc sur la technologie W-CDMA dont un des principaux avantages est de pouvoir accéder à des débits assez élevés tout en assurant la mobilité. Chaque utilisateur peut se voir attribuer selon le besoin et les conditions d'accessibilité et de disponibilité de la station de base, des débits compris entre 7.5 kbit/s et 2 Mbit/s, permettant des accès multimédia en moyenne à des débits raisonnables (64 ou 128 kbit/s typique).

De plus, l'UMTS a été défini selon deux modes possibles de fonctionnement ; l'un fondé sur une distinction entre les fréquences émises par les mobiles (appelées fréquences montantes ou « uplink ») et les fréquences émises par les stations de base (appelées fréquences descendantes ou « downlink »). Ce mode est appelé « FDD » ou mode duplex fréquentiel. Ce mode est appelé à être implémenté le premier en Europe. Le second mode appelé « TDD » ou duplex temporel vise à utiliser la même fréquence d'émission pour le mobile et la station de base, mais à des instants différents pour éviter les interférences.

Les fréquences adoptées pour l'UMTS sont présentées au Tableau III.

Système	Liaison Montante (« Uplink »)	Liaison descendante (« downlink »)
UMTS – FDD (Europe)	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz
Système UMTS – TDD	1900 - 1920 et 2010 – 2025 MHz	

Tableau III : Bandes de fréquences attribuées à la 3ème génération en Europe

4.1.3 Le W-CDMA

Le W-CDMA est un procédé complexe d'étalement de spectre par code, ceci sur une bande de fréquence de 5 MHz ; un code unique est alloué à chaque mobile qui peut fonctionner en même temps que les autres et sur la même fréquence sans aucune interférence. De plus, un code spécifique est

affecté à chaque station de base (appelée « Node B »), ce qui permet au mobile de faire le tri parmi les stations de base environnantes fonctionnant toutes à la même fréquence centrale.

Le principe de l'étalement de spectre fait que tout signal W-CDMA n'ayant pas le code approprié dans un sens ou l'autre n'est pas décodé par le récepteur qui attend un code donné, ce signal est alors considéré comme du bruit ; d'autre part, tout brouilleur à bande étroite tombant dans le canal de réception est également transformé en bruit large bande pour le récepteur W-CDMA.

Ceci implique un contrôle rapide, avec une importante dynamique des puissances émises tant par les stations de base que par les mobiles. De plus, contrairement au GSM, la taille des cellules peut varier en fonction du nombre des utilisateurs et de la demande en débit de données. Le débit de la séquence de codage est de 3,84 Mchip/s (le chip étant défini comme le plus petit élément de la séquence de codage). La puissance maximale utilisée pour les stations de base est de l'ordre de 10 à 20 W à l'accès antenne et jusqu'à 125 mW maximum pour les mobiles, équivalente à celle d'un DCS 1800 ou la moitié d'un GSM 900.

On verra donc des signaux spectralement assez différents de ceux produits par le GSM et occupant une largeur de bande de 5 MHz alors que les signaux GSM ont chacun une occupation spectrale de 200 kHz seulement, en fait légèrement supérieure. Globalement, les signaux émis ne seront pas intermittents.

Contrairement au GSM avec le BCCH, il n'y pas de fréquence dédiée à la voie balise mais un code spécifique appelé CPICH pour Common Pilot Channel, code transmis en permanence par la station de base avec un niveau de puissance déterminé et constant dans le temps, quoique défini par l'opérateur pour chaque cellule et permettant à un mobile UMTS de repérer la cellule et de s'identifier. En moyenne, la puissance affectée au CPICH est de l'ordre de 10% de la puissance totale disponible par la station de base UMTS. La mesure du CPICH permet donc une estimation de la puissance totale maximale que peut émettre une station de base UMTS.

Le spectre d'émission d'une station de base est tout à fait similaire à celui d'un mobile. La Figure 3 : Spectre d'émission d'un téléphone mobile UMTS représente le spectre d'émission d'un mobile UMTS du commerce.

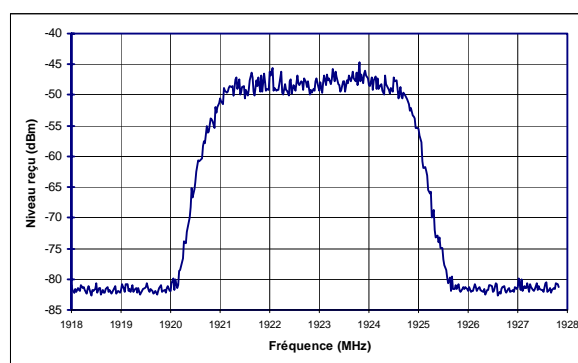


Figure 3 : Spectre d'émission d'un téléphone mobile UMTS

4.2 Sans fil

L'exposition du public aux rayonnements radioélectriques ne se limite pas aux émissions de la téléphonie mobile. Ainsi, on recense dès 9 kHz (première fréquence d'allocation dans le tableau des fréquences du règlement des radiocommunications de l'UIT-R) de nombreuses applications « radio » pour des besoins de communication, mais également de diffusion de l'information (radio en bande FM, TV, ...). Le Tableau IV ci-dessous liste les principaux services des fréquences considérées :

Bande de fréquences	Principaux types d'émission
10 kHz – 10 MHz	Agrégation de plusieurs bandes de fréquences spécifiques comme la radiodiffusion « Grandes ondes »(O.km), « Petites ondes » (O.hm) et autres
10 MHz – 30 MHz	Agrégation de plusieurs bandes de fréquences (Recherche de personnes, CB, Radiodiffusion)
30 MHz – 87,5 MHz	PMR (réseaux radioélectriques privés), TV en bande I (47-68 MHz), Radioamateurs, ...
87,5 MHz – 108 MHz	Radios en bande « FM »
108 MHz – 136 MHz	Aviation Civile
136 MHz – 400 MHz	PMR, ERMES, TV Bande III (174-223 MHz)
400 MHz – 470 MHz	Réseaux radioélectriques privés (PMR FM, TETRA, TETRAPOL, alphapage)
470 MHz – 862 MHz	TV bande IV et V
960 MHz – 1375 MHz	Radars, ...
1375 MHz – 1710 MHz	T-DAB (1452 1492 MHz), Faisceaux Hertzien, radio sondes et stations météos
1710 MHz – 1900 MHz	DECT : 1880-1900 MHz, ...
1900 MHz – 2700 MHz	Bluetooth (2400 – 2483,5 MHz), caméras de reportage, Wifi
2700 MHz – 3400 MHz	Radars
3400 MHz – 3600 MHz	Boucle Locale Radio / Wi-Max
> 3600 MHz	Stations terriennes, radars, FH, BLR (24,5-26,5 GHz) ...

Tableau IV : Bandes de fréquences des principaux types d'émissions

Les réseaux locaux sans fil ou radioélectriques appelés encore RLANs ou WLANs ont aussi attiré l'attention du public compte tenu de leur banalisation et leur faible coût. Le but de ces réseaux radio est d'interconnecter des ordinateurs entre eux sans raccordement filaire et mieux encore, de raccorder des ordinateurs portables à Internet ou à des serveurs distants via des points d'accès.

Il existe deux modes d'utilisation des réseaux sans fil :

- Le mode Ad Hoc (dit point à point), le réseau fonctionne de façon complètement distribuée (Independent Basic Service Set)

- Le mode Infrastructure, un point d'accès fédère les stations sans fil dans sa zone d'influence et assure la gestion de la ressource radio (Basic Service Set)

Les applications de ces réseaux sont à la fois personnelles et professionnelles, compte tenu de leur simplicité d'installation. De plus, se sont multipliés des points d'accès publics ou « hot-spots » dans les gares, les aéroports et autres lieux publics (cafés etc.) qui permettent à des utilisateurs enregistrés auprès de l'opérateur de « hot-spot » de se connecter localement à internet.

« WiFi » est le nom commercial des systèmes conformes aux normes américaines IEEE 802.11b ou 802.11g. Une autre norme 802.11a a été développée afin de compléter les possibilités des réseaux locaux radioélectriques.

Le Tableau V présente les principales caractéristiques des normes radio IEEE 802.11x.

Norme	Bande de fréquence (MHz)	Débit théorique (Mbit/s)	Couche physique et Contrôle d'accès
IEEE 802.11b	2400-2483,5	11	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)
IEEE 802.11g	2400-2483,5	54	OFDM, CSMA/CA
IEEE 802.11a	5150 – 5350	54	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), CSMA/CA

Tableau V : Principales caractéristiques techniques des systèmes radio IEEE 802.11x commercialisés

Il est fait mention dans ce tableau à la fois des mécanismes de modulation et d'accès et des protocoles d'accès. Le DSSS est une technique d'étalement de spectre du signal dans une bande de 20 MHz environ pour les réseaux locaux radio.

L'OFDM est pour sa part une technique de répartition des bits à transmettre sur un ensemble de porteuses orthogonales ayant chacune une bande assez faible. Globalement l'ensemble des porteuses émises va occuper ici une bande d'environ 20 MHz. L'OFDM s'avère extrêmement efficace dans de très nombreux domaines de transmissions (Télévision Numérique Terrestre, WiFi 802.11a et g, ...) et le matériel d'émission réception se réalise simplement au moyen de composants spécialisés. Globalement le signal émis étant constitué par une somme de porteuses, il peut être encore une fois être "vu" comme un signal aléatoire gaussien.

Le Tableau VI présente les puissances maximales autorisées dans la bande 2,4 GHz en France (ART, Juillet 2003) et le Tableau VII celles autorisées dans la bande 5 GHz. Ces puissances correspondent aux puissances isotropes rayonnées équivalentes (PIRE) maximales (cf définition de la PIRE en Annexe d).

Métropole		
Bande de fréquence (MHz)	PIRE Intérieur	PIRE Extérieur
2400-2454	100 mW	100 mW
2454-2483,5	100 mW	10 mW
Guadeloupe, Martinique, St Pierre et Miquelon, Mayotte		
Bande de fréquence (MHz)	PIRE Intérieur	PIRE Extérieur
2400-2483,5	100 mW	100 mW
Réunion et Guyane		
Bande de fréquence (MHz)	PIRE Intérieur	PIRE Extérieur
2400-2420	100 mW	Impossible
2420-2483,5	100 mW	100 mW

Tableau VI : Puissances autorisées dans la bande 2,4 GHz en France (ART, Juillet 2003)

Fréquences (MHz)	Intérieur	Extérieur
5150 – 5250	200 mW	Impossible
5250- 5350	200 mW avec DFS/TPC ou équivalent ou 100mW avec DFS uniquement	Impossible
5470 – 5725	Impossible	Impossible

Tableau VII : Puissances autorisées dans la bande 5 GHz en France (ART, Juillet 2003)

Les champs électromagnétiques produits par les systèmes WiFi, conformes aux niveaux de PIRE autorisés, sont généralement assez faibles en moyenne (inférieurs à quelques V/m à moins de 50 cm) et décroissent très rapidement avec la distance. Ils sont de plus très dépendants du débit et de la charge de trafic du point d'accès.

La Figure 4 montre la décroissance théorique de la densité maximale de puissance avec la distance en espace libre, pour une distance supérieure à 20 cm et pour un trafic théorique maximum d'un point d'accès avec une PIRE de 100 mW. En réalité, ces valeurs sont à réduire de façon sensible, car elles supposent une transmission permanente à débit maximum, ce qui n'est jamais le cas, en pratique.

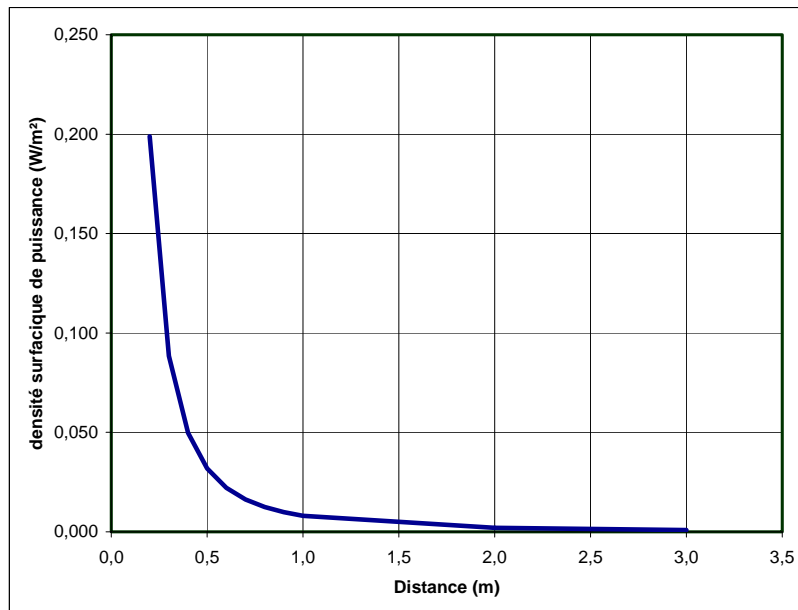


Figure 4 . Décroissance théorique de la densité surfacique de puissance d'un système WiFi en espace libre pour une PIRE maximale de 100 mW

4.3 Usage et déploiement

En 2004, en termes de nombre d'abonnés, le taux de pénétration de la téléphonie mobile s'établit à 70 %, soit le double de celui du début de l'année 2000. Un récent dossier de l'Autorité de Régulation des Télécommunications fait apparaître une utilisation moyenne des mobiles de 2h10 par mois (3h34 en moyenne pour les utilisateurs de forfait et 20 min pour les formules prépayées).

Les téléphones UMTS permettent aussi le fonctionnement en mode GSM / GPRS afin de pouvoir basculer facilement d'un réseau à l'autre car la couverture de l'UMTS sera progressive. Il est envisagé de couvrir dans un premier temps les grandes agglomérations et les villes de moyenne importance, puis la couverture sera progressivement étendue.

Ces téléphones disposent d'écrans couleur avec une résolution acceptable et sont équipés de mini caméras (une ou deux suivant les constructeurs), de mémoire étendue pour le stockage des données (plusieurs mégaoctets, voire des dizaines de mégaoctets, extensibles par l'intégration de mini cartes mémoire). Ils supportent plusieurs modes de compression audio et vidéo pour l'enregistrement et l'écoute de musique, la visualisation d'images, de vidéo, la navigation Internet et les services associés, la réception de la télévision numérique (DVB-H) et seront sans doute, équipés d'une fonction GPS pour la localisation et la sécurité des utilisateurs. Ils permettront aussi de jouer en ligne.

Ils sont déjà raccordables à un ordinateur par une connectivité du type USB ou Bluetooth et pourraient également recevoir des fonctions de réseaux locaux radio du type WiFi pour des accès plus rapides que l'UMTS mais avec une faible mobilité. Ils pourraient préfigurer les systèmes dits "au-delà de 3G". Il existe déjà des cartes "PC Card" ou "PCMCIA" intégrant l'UMTS et simultanément le GSM / GPRS. Ces cartes se montent sur des ordinateurs portables ou des assistants personnels électroniques (PDA) et permettent une communication de données ou téléphonique aux personnes équipées de ces appareils.

Sur le « terrain », les réseaux de téléphonie mobile se sont superposés à plus de 60 000 stations radio de toutes natures déjà en place. En 2003, le nombre total d'émetteurs installés pour le GSM est évalué à 36 000. (Cf. Figure 5 pour le déploiement du réseau GSM).

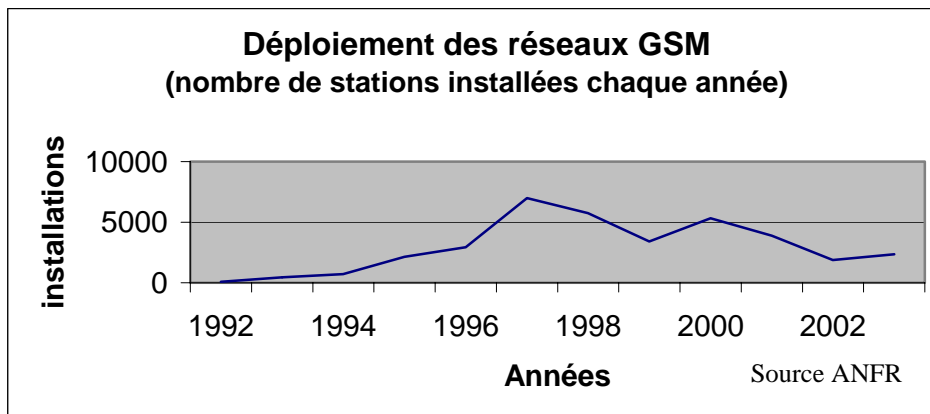


Figure 5 : Déploiement des réseaux GSM

4.4 Evolution des systèmes de télécommunications radio

4.4.1 Contexte

Le succès du GSM, aujourd'hui adopté par plus de 43 millions de français, a suscité de nouvelles demandes en termes à la fois de moyens de communications et de mobilité. Les usagers veulent maintenant accéder à tous les supports modernes de communication -- voix, données, vidéo -- quel que soit l'endroit où ils se trouvent.

Dans le même temps, l'ADSL se déploie de manière fulgurante dans les réseaux fixes et compte en France plusieurs millions d'abonnés. Les professionnels comme les particuliers se sont rapidement appropriés cette technologie de communication à haut débit avec tous les avantages que l'on connaît, notamment le téléchargement de masses de données à des vitesses de plus en plus rapides. Conséquence : aujourd'hui, les usagers veulent disposer de ces mêmes capacités de communication à partir de terminaux mobiles ou sans fil.

Pour répondre à la demande et anticiper les besoins futurs, les industriels développent de nouvelles technologies de communications tendant à faire disparaître la frontière entre les réseaux fixes et les réseaux mobiles. Certaines sont déjà opérationnelles, d'autres sont en phase d'étude ou de spécification par les organismes de normalisation, d'autres encore ne dépasseront peut-être pas le stade de projet. En outre, ces technologies ne seront pas toutes déployées simultanément aux mêmes endroits. Il faut également noter que l'augmentation du débit ne signifie pas nécessairement l'augmentation de la puissance radio des équipements, cette puissance tendant, globalement, à rester constante voire à diminuer.

Dans ce contexte, un état des lieux des technologies existantes et des technologies proposées à la normalisation permet de se faire une idée assez précise de l'évolution en cours. Pour cet état des lieux, la classification des systèmes de télécommunications aurait pu être menée selon la mobilité de l'utilisateur, le débit ou la portée radio. La classification qui a été retenue ci-après consiste à différencier les systèmes selon leur portée radio, ce qui correspond mieux à l'usage auquel ils sont destinés :

- systèmes à très courte portée pour remplacer les fils et les cordons à la maison et au bureau
- système à courte portée pour les applications de réseaux locaux résidentiels et professionnels

- systèmes à moyenne et longue portée principalement destinés à la téléphonie mobile cellulaire et aux applications associées
- et, enfin, systèmes à très longue portée, comprenant essentiellement les systèmes de communications satellitaires.

On se restreindra ici au cas des transmissions bi-directionnelles et l'on ne considérera donc pas les systèmes de diffusion, tels que la télévision numérique terrestre (norme DVB-T ou DVB-H) qui sera ouverte en France en mars 2005 et qui devrait connaître un essor important.

Enfin il sera fait mention de nombreuses normes IEEE de type 802 (Local & Metropolitan Area Network Standard Committee) parmi lesquelles on distinguera les sous familles de normes qui concernent des applications "grand public". Il s'agit essentiellement des trois normes suivantes :

- IEEE 802.15 : normes pour réseaux personnels (PAN), qui concernent donc des équipements de faibles tailles, faibles coûts, de faibles complexités et s'adressant à des communications à très courtes distances.
- IEEE 802.11 : normes pour réseaux locaux (LAN), qui concernent des équipements de tailles et complexités légèrement supérieures aux équipements des réseaux PAN.
- IEEE 802.16 : normes pour réseaux métropolitains (MAN), il s'agit ici d'équipements un peu plus importants en tailles, complexités et puissances.

4.4.2 Systèmes à très courte portée

On considère ici des portées de l'ordre de 10 m avec des puissances inférieures à 100 mW et plusieurs classes de débit allant de 20 kbits/s jusqu'à 400 Mbits/s. L'objectif principal est de remplacer tout un ensemble de cordons qui s'emmêlent en général derrière les équipements électroniques et rendent le déplacement de ces derniers extrêmement pénible. Il peut s'agir par exemple du cordon de la souris d'un ordinateur (ex: souris d'ordinateurs Bluetooth). D'autres applications de type "oreillettes Bluetooth" sont aussi proposées.

Le Tableau VIII ci-dessous dresse un bref inventaire d'un premier groupe de systèmes pour des débits inférieurs à 50 Mbits/s :

Nom	Bande de fréquences	Débit	Puissance	Portée
ZigBee (802.15.4)	868,3 MHz (1 canal de 2 MHz)	20 kbits/s	1 mW	10 m
	915 MHz (10 canaux de 2 MHz)	40 kbits/s	≤100 mW	
	2,4 GHz (16 canaux de 2 MHz)	250 kbits/s		
Bluetooth (802.15.1)	2,4 GHz (79 canaux de 1 MHz)	64 kbits/s	1 mW	10 m
		434 kbits/s	≤ 100 mW	
		723 kbits/s		
802.15.3	2,4 GHz (5 canaux de 15 MHz)	11 Mbits/s	6,3 mW	10 m
		22 Mbits/s	≤ 100 mW	
		33 Mbits/s		
		44 Mbits/s		
		55 Mbits/s		

Tableau VIII : Systèmes pour débits inférieurs à 50 Mbits/s

Parallèlement à ces systèmes existants, des approches, dites Ultra Large Bande (UWB: Ultra Wide Band), sont en cours de normalisation. La portée reste de l'ordre de 10 m mais le débit est beaucoup plus important et peut atteindre 400 Mbits/s. Les "cordons", qu'ils soient analogiques ou numériques, que ces futurs équipements radio pourraient remplacer, sont typiquement : le cordon péritel entre un téléviseur et un magnétoscope, un lecteur de DVD ou un vidéo-projecteur; le câble d'imprimante ou d'autres types de câbles. Des applications de transferts de fichiers volumineux (audio et vidéo) entre ordinateurs mis en réseau sont aussi envisagées.

Nom	Bande de fréquences	Débit	Puissance	Portée
802.15.3a	Bande UWB de 3,1 GHz à 10,6 GHz	≤ 400 Mbits/s	voir gabarit	10 m

Couvrant une bande de fréquence de 7 GHz déjà occupée par d'autres réseaux, les futurs systèmes UWB sont contraints de respecter des gabarits d'émission extrêmement sévères. Un gabarit a été normalisé par la FCC aux Etats-Unis en février 2002. En Europe, des discussions sont en cours au niveau de l'ETSI et de la CEPT (Figure 6).

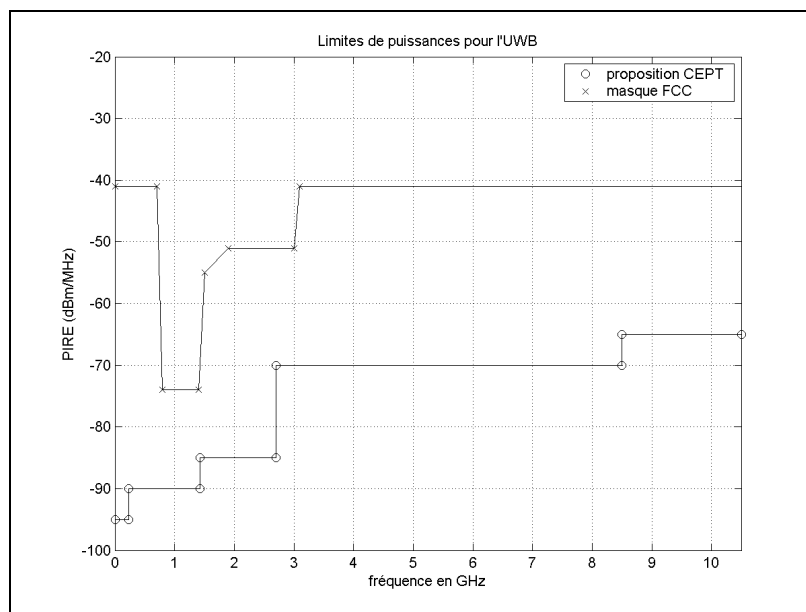


Figure 6 : Gabarit d'émission UWB (Ultra large Bande) en Europe (proposition CEPT) et aux Etats Unis (masque FCC autorisé depuis février 2002) –

Les valeurs de ces gabarits sont exprimées en dBm/MHz. La valeur -41 dBm/MHz du masque FCC correspond donc à une PIRE de 79,4 nW/MHz. Une émission dans la totalité de la bande de fréquence (3,1-10,6 GHz) correspondrait alors donc à une PIRE d'environ 0,5 mW.

Deux formes d'ondes concurrentes sont proposées pour les transmissions UWB, soit une forme d'onde impulsionnelle, soit une forme d'onde OFDM par sous bandes de 500 MHz (solution du consortium MBOA).

Enfin d'autres solutions sur des fréquences beaucoup plus élevées (dans le domaine millimétrique) sont étudiées. Elles ont l'avantage de se situer dans des zones du spectre peu encombrées (à part une

bande militaire vers 59,3 GHz), de permettre de réutiliser facilement les fréquences et d'utiliser des antennes de très faibles tailles.

Nom	Bande de fréquences	Débit	Puissance	Portée
	De 56 GHz à 62 GHz	220 Mbits/s	< 1 mW	< 15 m

4.4.3 Systèmes à courte portée

La deuxième grande classe de portée concerne les liens radio allant de quelques mètres jusqu'à environ 500 m. Les principales applications sont les mises en réseau local d'équipements informatiques (PC, imprimante, serveurs divers, ...). Ces systèmes sont connus sous le nom commercial de WiFi et ils regroupent les 4 normes issues de la norme IEEE802.11 parue en 1997. Cette norme a connu deux premières évolutions différentes en 1999 : IEEE802.11b et IEEE802.11a. Puis ces deux évolutions se sont en partie regroupées en 2003 sous l'appellation IEEE802.11g. Ces différentes solutions ont été détaillées dans le paragraphe 4.2 de ce rapport, elles ne seront donc pas développées en détail ici. On notera simplement que l'on a ici passé sous silence la norme européenne Hiperlan II, qui, du point de vue de la couche physique, est équivalente à la solution 802.11.a. Enfin le site Internet "WiFi Alliance"¹⁴ dresse l'inventaire des lieux publics où l'on peut avoir accès à Internet via une connexion WiFi.

4.4.4 Systèmes à moyenne et longue portée

On entre là dans le domaine des réseaux cellulaires avec des portées de plusieurs km. Les évolutions les plus importantes concernent actuellement le développement des systèmes dits de troisième génération (3G). Il s'agit en l'occurrence de l'UMTS et de la solution concurrente américaine appelée Cdma2000. On notera aussi l'apparition de nouveaux systèmes de type "boucle locale radio", annoncés pour l'automne 2005 (WiMax : Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Les principales caractéristiques de l'UMTS ont été présentées lors du paragraphe 4.1 de ce rapport. Concernant l'évolution de cette norme, on notera que, par rapport aux premières allocations de fréquences, des bandes d'extension entre 2,5 GHz et 2,7 GHz sont prévues. Pour ce qui est de son déploiement, un site internet¹⁵ tient à jour la liste des réseaux de troisième génération déployés dans le monde ainsi que le nombre d'abonnés de ces réseaux. Fin septembre 2004, on comptait dans le monde 9,3 millions d'abonnés à des réseaux 3G basés sur la technologie Cdma2000 1xEV-DO et 10.8 millions d'abonnés à des réseaux 3G basés sur la technologie UMTS FDD W-CDMA.

En ce qui concerne l'UMTS, une course de vitesse est engagée avec la norme concurrente Cdma2000 1xEV-DO pour offrir rapidement une augmentation de débit par rapport aux premiers objectifs de 2 Mbits/s. Pour cela l'évolution prévue porte le nom de HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), elle concerne essentiellement la voie descendante et elle est fondée sur une solution d'émission "multicodes" avec une forme d'onde en QAM16 (norme UMTS 3GPP R5 (juin 2003) prévue pour mi-2005 qui sera suivie par la version R6). Grâce à ces évolutions, la capacité de la voie descendante peut ainsi atteindre 10 Mbits/s. L'évolution correspondante pour la voie montante s'appelle EUDCH (Enhanced Uplink for Dedicated Channels) et devrait voir le jour en 2006. Parallèlement l'évolution Cdma2000 1xEV-DV du Cdma2000 1xEV-DO doit permettre d'atteindre 5 Mbits/s. La Figure 7 présente ces évolutions des normes des systèmes de troisième génération de téléphonie mobile.

¹⁴ www.wi-fi.org

¹⁵ www.3gtoday.com

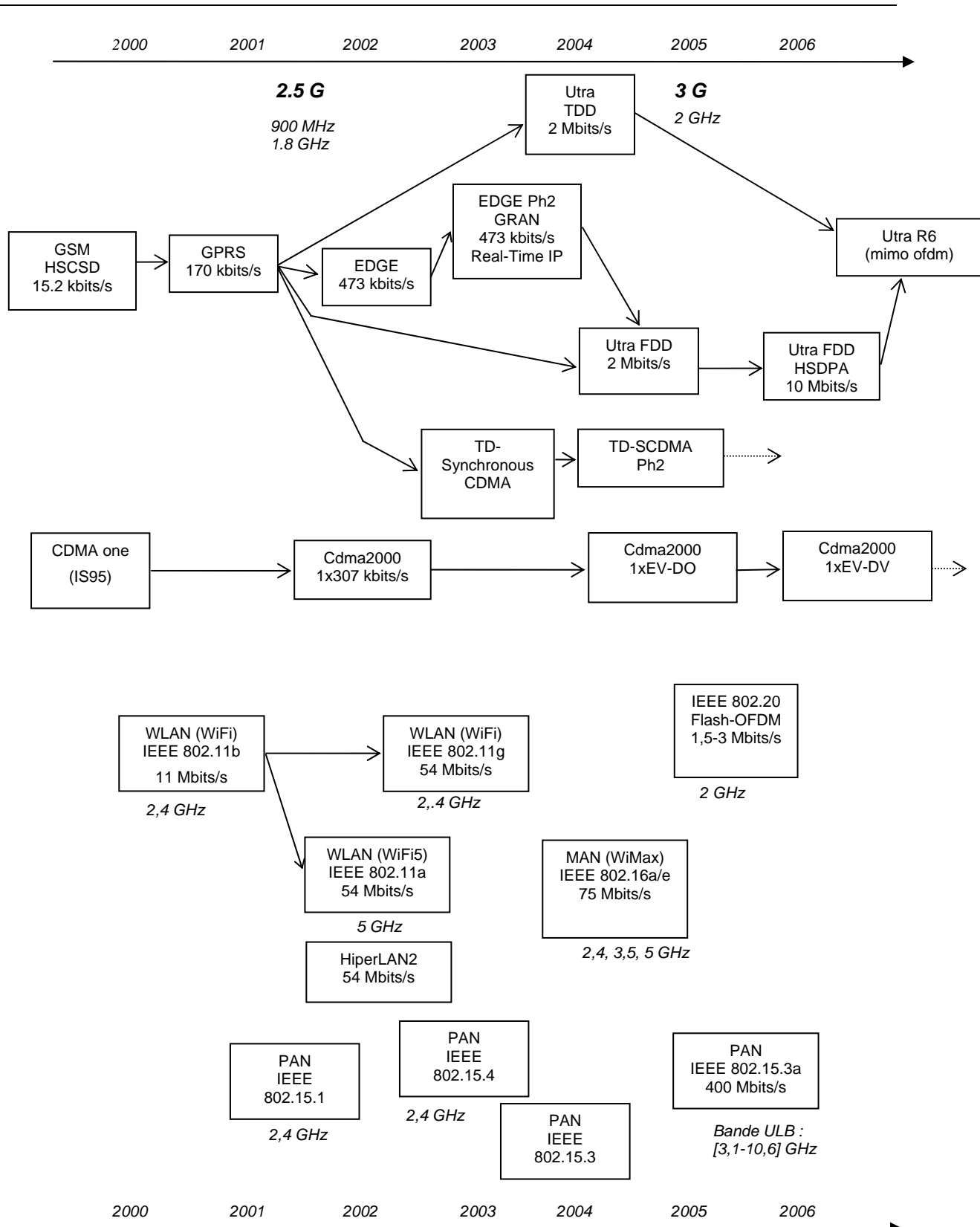


Figure 7 : Plan de développement des systèmes de téléphonie mobile de troisième génération (ainsi que des systèmes WLAN, MAN et PAN)

Parallèlement et de manière concurrente au déploiement de l'UMTS, plusieurs autres solutions permettant d'offrir un accès radio au moyen d'infrastructures de type cellulaires terrestres sont en cours de développement. Il s'agit principalement de trois normes : IEEE802.16a (WiMax), IEEE802.20 (Flash-OFDM/Flarion) et Cdma450 (Tableau IX).

Nom	Bande de fréquences	Débit	Puissance	Portée
WiMax 802.16a	2,4 GHz 3,5 GHz 5,15 GHz 10 GHz canaux de 1,2, 3,5, 14 ou 28 MHz	< 75 Mbits/s	< 1 W (terminal*)	Cellulaire (<40 km, typique 5 km)
Flash-OFDM 802.20	400 MHz 3,5 GHz canaux de 5, 14 ou 20 MHz	< 1,5 Mbits/s (descendant) < 500 kbits/s (montant)	< 1 W	Cellulaire (<20 km, typique 1 km)

Tableau IX : caractéristiques de systèmes à moyenne et longue portée autres que l'UMTS

*: Le terminal WiMax peut se décliner sous de nombreuses formes possibles, il peut s'agir par exemple du couvercle d'un PC portable, on peut aussi imaginer d'un système d'émission situé loin de l'utilisateur (comme par exemple une antenne transparente fixée sur une vitre) et relié à ce dernier par une liaison radio à courte portée.

L'objectif initial de WiMax était d'offrir une solution de type ADSL radio pour les usagers n'ayant pas d'accès ADSL filaire. La norme initiale ne prévoyait pas de mobilité du terminal. L'évolution 802.16e de cette norme intègre maintenant la mobilité du récepteur et devient ainsi en partie concurrente de l'UMTS. Des ouvertures de réseaux WiMax sont annoncées pour la fin 2005. Le site <http://www.wimaxforum.org> tient à jour les dernières évolutions de WiMax. Un réseau expérimental fonctionne déjà dans le 13^e arrondissement de Paris.

4.4.5 Systèmes à longue portée et très longue portée

Plusieurs systèmes de télécommunications avec les mobiles à base de satellites en orbites basses ont été développés dans les années 90. Certains ont été mis en service, comme par exemple : Iridium (<http://www.iridium.com/>), ou Globalstar (<http://www.globalstar.com>) mais n'ont pas forcément connu le développement attendu. D'autres projets (Celestri, SkyBridge, Télédesic, ...) n'ont pas été jusqu'au stade de mise en service avant d'être abandonnés. D'autres solutions à base de satellites géostationnaires existent aussi, comme par exemple le système Thuraya (<http://www.thuraya.com>). Dans la plupart des cas l'utilisateur dispose d'un terminal de la taille d'un téléphone GSM qui basculera automatiquement du réseau cellulaire vers l'accès satellite lorsque l'utilisateur sort de la zone de couverture GSM.

Mettant en jeu des débits plus importants, plusieurs projets d'UMTS par satellites géostationnaires sont actuellement étudiés. Le problème principal provient alors du bilan de liaison qui est très défavorable pour des transmissions hauts débits car le satellite se trouve, au minimum, à 36000 km de l'émetteur mobile.

Nom	Bande	Débit	Puissance	Portée
UMTS satellite	Montante 1980-2010 MHz Descendante 2170-2200 MHz	< 2 Mbits/s	de 250 mW à 8 W (terminal)	Terre vers orbite géostationnaire

Tableau X : systèmes à longues et très longues portées

La PIRE du terminal doit alors être importante pour pouvoir assurer le bilan de liaison et l'on distingue plusieurs types de terminaux qui sont précisés dans le Tableau XI ci-dessous.

Type de terminal	Puissance	Gain d'antenne	Pire max
Handset classe 1	2W	0 dBi	3 dBW
Handset classe 2	500 mW		-3 dBW
Handset classe 3	250 mW		-6dBW
Portable PC portable avec antenne peu directive	2W	2 dBi	5 dBW
Terminal de véhicule Avec antenne sur le toit	8 W	4 dBi	13 dBW
Transportable PC portable avec antenne directive	2W	14 dBi	17 dBW
Avion Avec antenne extérieure	2W	3 dBi	6 dBW

Tableau XI : terminaux assurant la réception des systèmes satellitaires

Les débits restent malgré tout assez faibles et s'échelonnent de 1,2 kbits/s à 384 kbits/s en fonction du type de terminal considéré. On notera que pour obtenir ces valeurs, il est nécessaire de disposer d'antennes de très grandes tailles à bord du satellite (jusqu'à 25 m de diamètre !). On notera cependant que l'usage de la téléphonie mobile par satellite est actuellement anecdotique en France.

4.4.6 Conclusion sur les principaux systèmes d'accès radio en développement

Ce paragraphe a présenté les principaux systèmes d'accès radio actuellement en développement. Comme il a été précisé en introduction, il ne faut pas s'attendre au déploiement en parallèle de tous ces systèmes en un même lieu géographique mais plutôt à des mises en place de réseaux radio offrant à l'utilisateur des solutions de communications avec des débits importants et une très bonne couverture, que ce soit en extérieur ou en intérieur. La tendance générale est d'essayer de densifier les points d'accès radio avec des antennes de petites tailles et des puissances mises en œuvre assez faibles.

L'impact de ces développements sur le niveau moyen d'exposition de la population aux ondes électromagnétiques est difficile à analyser car plusieurs phénomènes s'opposent.

Dans un premier temps on peut conclure que le niveau moyen d'exposition augmente du fait des déploiements WiFi, UMTS, ... qui s'ajoutent au GSM existant. Il s'agit cependant d'une exposition

essentiellement "descendante", c'est-à-dire du réseau vers les usagers. Dans un deuxième temps, on peut constater que la densification du réseau conduit à solliciter moins de puissance de la part des terminaux et l'utilisateur est donc moins exposé lors des transmissions montantes (de l'utilisateur vers le réseau). Enfin la mise à disposition simple d'accès Internet à fort débit, telle que le permet WiFi (couplé à un accès filaire haut débit), modifie les usages téléphoniques en les remplaçant par des communications via des systèmes de messagerie avec un mélange de texte, son et image (comme par exemple "MSN Messenger"). Ainsi dans ce cas particulier une augmentation de l'exposition par la mise à disposition d'un réseau WiFi entraîne une diminution des communications de téléphonie mobile et donc une diminution de l'exposition montante.

4.5 Dosimétrie, niveaux d'exposition

4.5.1 Dosimétrie des téléphones mobiles (GSM, GPRS, EDGE, UMTS)

Pour les téléphones mobiles, le débit d'absorption spécifique (DAS) est utilisé pour quantifier le niveau d'exposition de la tête de l'utilisateur. Le DAS représente la puissance absorbée par unité de masse de tissu. La norme européenne de référence (EN 50360) stipule que la valeur maximale du DAS intégré dans 10g de tissu contigu ne doit pas dépasser 2W/kg. Elle est complétée par la norme EN 50361 qui vise à définir précisément la méthodologie de vérification du niveau de DAS pour les téléphones GSM. Toutefois, il existe actuellement des études permettant de simplifier la méthodologie normalisée par exemple, la méthode dite du DAS par reconstruction paramétrique ou celle du DAS par extrapolation exponentielle. Ces méthodes aboutissent à un gain de temps non négligeable de l'essai par réduction du nombre de points de mesures et assurent un ordre de grandeur très pertinent de la valeur de DAS. Cette démarche est très utile en phase de développement d'un produit mais commence aussi à être prise en compte par les instances de normalisation. Il existe aussi des études d'estimations statistiques permettant d'éviter des mesures invasives.

Les téléphones GSM commercialisés récemment montrent que le niveau de DAS ne dépasse pas la valeur de 2W/kg mais certains téléphones ont des valeurs de DAS parfois supérieures à 1,5 W/kg. Les problèmes technologiques de conception des téléphones et le peu de place laissé à l'antenne peuvent éventuellement expliquer ces ordres de grandeurs.

De la même façon que pour le GSM, la normalisation pour les nouvelles techniques (GPRS, EDGE, UMTS) s'attache à limiter le débit d'absorption spécifique produit par les terminaux dans la tête des utilisateurs mais en fonction des usages, il peut être envisagé de définir des positions différentes de celles normalisées pour le GSM.

En effet, il est vraisemblable qu'on soit amené à tenir le téléphone UMTS en face de soi ou posé sur une table et non contre l'oreille comme pour le GSM, dans un assez grand nombre d'applications. Toutefois, du fait que c'est toujours un téléphone (UMTS ou GSM), il conviendra certainement de maintenir les positions standard de la normalisation GSM actuelle. Parmi les difficultés rencontrées se pose d'abord le problème des terminaux GSM fonctionnant en mode GPRS ou EDGE du fait de la possibilité pour certains mobiles d'émettre pendant plusieurs intervalles de temps de la trame de base. La question est de savoir si la puissance crête maximum est maintenue dans ce contexte avec plusieurs intervalles de temps ou si pour des questions d'autonomie des batteries et de capacité des amplificateurs de sortie des téléphones, la puissance crête diminue avec des conséquences très différentes en termes de DAS maximum. En effet, comme c'est la puissance efficace qui permet de caractériser le DAS, cette

puissance pourrait doubler avec l'utilisation de deux intervalles de temps avec pour conséquence un doublement du DAS.

Une autre difficulté potentielle est liée à la caractérisation du débit d'absorption spécifique pour l'UMTS, vu le faible niveau maximum de puissance fournie par les terminaux (typiquement 125 mW) et à la forme des signaux émis (signaux à large spectre étendu sur 5 MHz, voir figure 3. Toutes ces questions sont à l'étude dans les instances de normalisation.

C'est pourquoi, il est de toute façon recommandé d'utiliser l'oreillette ou « kit piéton » afin de diminuer le niveau de DAS dans la tête de l'utilisateur. En effet, l'efficacité du « kit piéton » filaire a été reconnue vis-à-vis de la diminution du DAS du téléphone mobile. Il existe une réduction importante du niveau d'exposition, mais en l'absence de protocoles de mesure normalisés au niveau international, il est impossible de fournir des chiffres certifiés. Suivant les couples téléphone-kit main libre filaire, la gamme de réduction est de l'ordre de 10. Les figures suivantes (8a et 8b) montrent l'effet de réduction du DAS maximal apporté par l'utilisation des « kits piéton » ou « kits mains libres » sur 186 téléphones mobiles GSM (publication à paraître ; source Supélec).

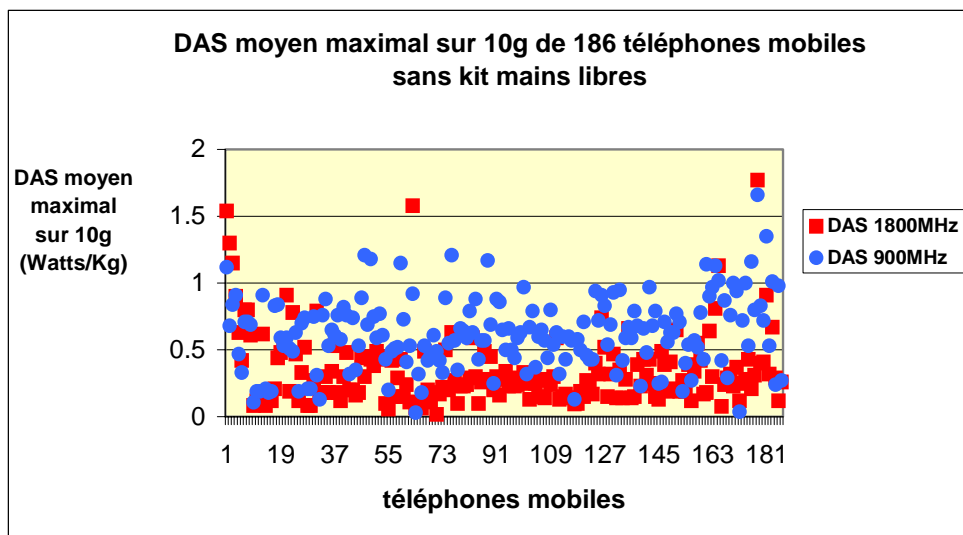


Figure 8a : Mesures de DAS de 186 téléphones mobiles sans kit piéton

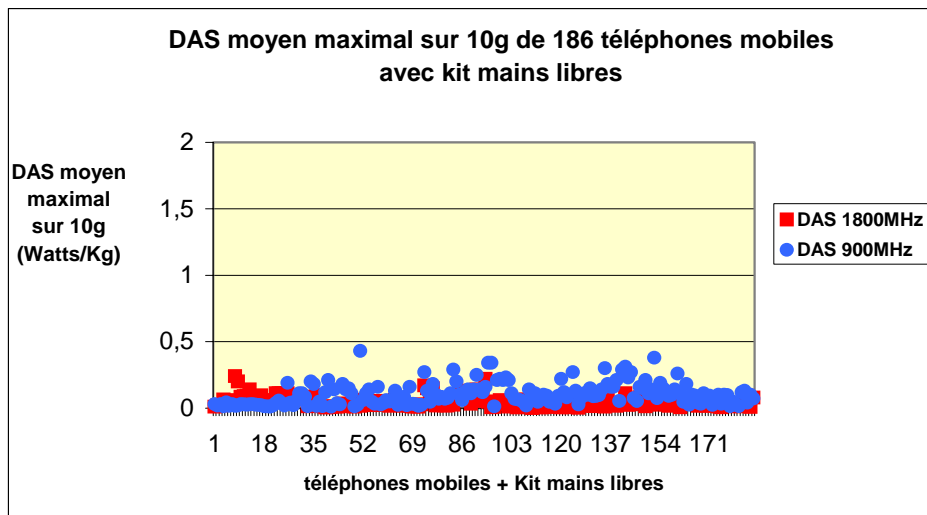


Figure 8b. Mesures de DAS des mêmes 186 téléphones mobiles avec kit piéton.

Le projet ADONIS (**Analyse dosimétrique des systèmes de téléphonie mobile de 3ème Génération**) du Réseau National de Recherche en Télécommunications vise entre autres, à proposer des méthodologies de caractérisation de débit d'absorption spécifique pour l'UMTS et permettra d'assurer des contributions françaises à la normalisation comme l'avait fait le précédent projet COMOBIO pour le GSM. Le projet est structuré en 3 sous projets complémentaires

ADERIS: Analyse dosimétrique de l'absorption par la tête des enfants des rayonnements émis par les mobiles

MATIS : Mesure du DAS des téléphones mobiles de troisième génération

ISIS : Dosimétrie des antennes relais des systèmes de troisième génération

4.5.2 Mesure représentative de l'exposition moyenne des individus en France

4.5.2.1 Exposition due aux terminaux mobiles

L'exposition réelle d'un utilisateur, due aux téléphones mobiles GSM est essentiellement variable dans la durée d'une communication téléphonique et selon les mouvements du corps. En effet, compte tenu des mécanismes de régulation de puissance, de saut de fréquence entre la bande 900 MHz et la bande 1800 MHz et des dispositifs de transmission discontinue, la puissance instantanée peut varier dans un rapport de 1 à 100 en pratique, théoriquement dans un rapport de 1 à 1000 et donc le DAS instantané peut varier dans les mêmes proportions. Le DAS maximum d'un téléphone mobile est rarement maintenu tout au long d'une conversation téléphonique sauf cas exceptionnel. Ces cas peuvent arriver lorsque la personne qui téléphone, est en limite de portée (faible nombre de barrettes d'indication de champ sur le téléphone) de toute station de base environnante (par exemple dans un parking souterrain mal couvert par le GSM) ou lorsque le mobile est amené à faire des transferts inter-cellulaires fréquents c'est-à-dire des changements de cellules rapides (par exemple, en TGV).

En tout état de cause, il faut noter que le mobile GSM émet toujours à puissance maximum en début d'appel pendant quelques secondes (que ce soit sur émission d'appel ou en réception d'appel dès avant le début de sonnerie) et voit sa puissance varier en fonction des conditions d'environnement.

Pour l'UMTS, des différences notables existent du fait des principes techniques différents du GSM. Un mobile UMTS n'émet pas obligatoirement à puissance maximum en début de communication car il y a un

contrôle permanent de puissance qui permet à la station de base UMTS d'estimer la puissance nécessaire fournie par le mobile avant le début de la communication et un contrôle rapide de puissance qui implique des variations très rapides de la puissance jusqu'à 1500 fois par seconde environ.

De plus, dans les questions d'exposition, intervient aussi la sensibilité du récepteur du mobile qui permet l'équilibrage de la liaison radioélectrique dans les deux sens. Un téléphone ayant une sensibilité moins bonne qu'un autre captera moins bien le réseau en limite de portée et peut induire un passage du téléphone à puissance maximum contrairement à un téléphone meilleur en sensibilité.

Des développements de produits visant à mesurer la puissance instantanée émise par un téléphone mobile en temps réel, sont en cours. Ils pourront donc permettre de déduire le DAS instantané auquel est soumise une personne qui téléphone le long d'un itinéraire ou qui est immobile. Ce type d'appareil peut permettre de mieux caractériser l'exposition réelle d'utilisateurs du téléphone mobile lors d'études épidémiologiques par exemple ou pour des besoins d'informations sur l'exposition due aux téléphones mobiles.

4.5.2.2 Exposition environnementale

Le niveau moyen d'exposition individuelle de la population aux champs électromagnétiques et en particulier aux champs de radiofréquences est actuellement connu de manière très imparfaite. Cette méconnaissance est d'abord liée à des difficultés méthodologiques ; ce type de mesures demande une compétence particulière et est soumis à une incertitude importante.

En outre, des méthodologies de mesures harmonisées n'ont été réellement définies que depuis quelques années, notamment dans le cadre des travaux préparatoires de la recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 (en particulier la prénorme ENV 50166-2 norme expérimentale publiée en 1995) et du mandat donné par la Commission européenne au Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (Cenelec) pour la définition de normes de mesures harmonisées. Ce mandat a été donné en vue de la définition de règles techniques harmonisées pour l'application de la directive 1999/5 CE du Parlement et du Conseil concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunication et la reconnaissance mutuelle de leur conformité. Lorsque des protocoles de mesures stricts ne sont pas respectés, les différences entre les résultats publiés peuvent être considérables et conduire à des interprétations erronées, notamment lors de mesures globales non sélectives en fréquences, attribuant ainsi à certaines sources visibles ce qui revient en fait à d'autres sources non visibles et plus lointaines.

En France, l'Agence nationale des fréquences (ANFR) a élaboré en 2001 un protocole de mesures sur sites dont l'objectif premier était la mesure des champs de radiofréquences à proximité des stations de base de radiotéléphonie mobile mais qui couvrait aussi l'ensemble des stations fixes d'émissions radioélectriques.

L'obligation de respect de ce protocole par les laboratoires de mesure découle de l'article 5 du décret n°2002-775 du 3 mai 2002. Ce protocole de mesures a notablement évolué en 2004 (V2.1) pour prendre en compte les technologies en développement de la radiotéléphonie, et notamment l'UMTS.

Au niveau européen, en ce qui concerne les stations de base, le Cenelec a publié la norme EN 50385:2002 : Norme produit pour la démonstration de la conformité des stations de base radio et des stations terminales fixes pour les radiocommunications, aux restrictions de base et aux niveaux de référence relatifs à l'exposition de l'homme aux champs électromagnétiques (110Mhz-40 GHz) (JOCE du 7 décembre 2002/C304-17).

Dans le domaine de la mesure sur sites, il existe également au niveau européen une recommandation du Comité électronique des communications : la recommandation ECC (02)04 relative à la mesure des rayonnements électromagnétiques non ionisants (9 kHz - 300GHz). Ce texte, qui n'est qu'une recommandation, s'appliquera progressivement dans l'ensemble des États européens, et le protocole de mesures de l'ANFR fait largement référence à ce texte harmonisé. Les organismes de contrôle technique accrédités par le COFRAC, sont actuellement tenus de respecter le protocole de l'ANFR dans sa version 2.1.

Ces mesures sur sites ne sont cependant que des mesures statiques représentatives de l'exposition au point de mesure et à un moment donné, (extrapolées en ce qui concerne les stations de base de la téléphonie mobile à la puissance maximale). Elles ne prennent aucunement en compte la mobilité du public au cours de la journée et ne peuvent donc être représentatives de la variabilité de l'exposition au cours du temps d'une personne aux différentes sources de radiofréquences.

Il apparaît donc souhaitable de tirer profit de l'évolution technologique récente, et en particulier du développement d'appareils de mesures portables, permettant une estimation pondérée dans le temps et dans l'espace de l'exposition du public porteur de l'appareil de mesures aux champs électromagnétiques de radiofréquences.

Cette mesure pourrait se faire pour chacune des bandes de fréquences principales : radio HF, radio FM, télévision, GSM montant, GSM descendant, DCS montant, DCS descendant, UMTS montant, UMTS descendant. L'objectif est plutôt de disposer d'un instrument de mesure ayant une certaine fidélité qui permette de réaliser des comparaisons de niveaux d'exposition entre les bandes de fréquences et entre différentes situations d'exposition. Un tel appareil ne peut être considéré a priori comme garantissant une grande justesse. En effet, si la justesse et la sensibilité sont relativement bonnes lorsque l'appareil est posé sur une table, par contre lorsqu'il est porté à la ceinture ou dans un sac, l'existence d'interactions entre le corps et le dosimètre crée des défauts d'isotropie qui altèrent la mesure. Malgré le manque de précision de cet appareil, les informations recueillies peuvent être très utiles lors des études épidémiologiques car elles sont suffisantes pour établir de façon tout à fait correcte différentes classes d'exposition. D'autres gammes de fréquences devraient à l'avenir être analysées par ce type d'appareil : DECT, Tetra...

Dans ce domaine, différentes initiatives sont actuellement en cours en Europe. Leur succès conditionne le développement éventuel d'études à visée épidémiologique fondées sur les niveaux d'exposition réels de la population et non sur des estimations plus ou moins grossières ou biaisées. La diffusion à petite échelle de tels appareils permettrait de procéder à une évaluation des niveaux d'exposition de différents groupes de population en France, notamment en fonction de leur situation par rapport à différents types d'émetteurs ou de leur activité. Un appel d'offres de l'Afsse est en cours pour tester la faisabilité et l'apport de tels appareils pour la métrologie individuelle des sujets participant à des études épidémiologiques. Il convient de souligner cependant les difficultés métrologiques et méthodologiques liées à ce type de mesures, difficultés largement supérieures à celles des mesures sur site fixe, en l'absence de tout protocole standardisé et de toutes normes de références. Il conviendra donc de porter dans de telles études de métrologie une attention particulière à la représentativité de la population étudiée, en termes de sites d'études, de choix des sujets participants répondant à des profils différents, adultes, enfants utilisateurs de mobiles ou non, d'évaluation de la mobilité des personnes durant la période de recueil des données et de durée de la période de recueil des données. L'utilité réelle de telles mesures dépend en outre de la comparabilité des protocoles utilisés dans différentes études, une attention doit donc être portée à une harmonisation des protocoles utilisés par différentes équipes en vue d'une tentative de normalisation. Une étude de faisabilité d'enquêtes épidémiologiques fondées

notamment sur une telle technologie est actuellement en cours au niveau européen coordonnée par l'Austrian Research Center, et impliquant la collaboration de plusieurs pays dont la France (<http://www.mobile-research.ethz.ch>).

4.5.3 Cartoradio

Pour répondre aux interrogations du public, le Gouvernement a chargé l'Agence Nationale des fréquences (ANFR) de créer un site Internet de cartographie des émetteurs radio. Ainsi www.cartoradio.fr (Cf. Figure 9) présente la répartition des stations radioélectriques de tous types autorisées par l'ANFR. Le site fournit pour chacune d'entre elles une fiche d'information. Cette cartographie s'appuie sur les données fournies par les administrations et les opérateurs de télécommunication. Cartoradio permet également de consulter les résultats des mesures de champ de la base de l'ANFR.



Source ANFR

Figure 9 : Exemple d'une page Internet de « Cartoradio »

Panorama du rayonnement actualisé en France

En Décembre 2001, l'Agence Nationale des Fréquences publiait un panorama du rayonnement électromagnétique en France. Ce document faisait suite à une campagne de mesure principalement réalisée par ses propres équipes. Trois ans après cette première synthèse, l'ANFR publie à nouveau un panorama, les données synthétisées sont cette fois ci principalement issues des laboratoires qui ont pris le relais de cette activité.

En 2001, l'ANFR n'avait pas concentré ses actions sur un seul type de stations radioélectriques mais avait constitué un échantillon à l'image du parc de stations de tous types et sur l'ensemble du territoire français, cet échantillon était représentatif de la population générale. Depuis 2001, c'est l'inquiétude suscitée par l'implantation d'antennes de téléphonie mobile qui a motivé le choix des sites de mesure : dans ce cas, c'est la demande qui a guidé le choix des stations. Le bilan 2004 (Figure 10 Figure 11) accentue donc l'impact des stations GSM sur les mesures effectuées en extérieur. A l'inverse, l'impact de la FM semble s'atténuer, les campagnes de mesure depuis 2001 se sont en effet éloignées des émetteurs de radiodiffusion de forte puissance.

Les graphes ci-dessous distinguent les mesures faites en intérieur et à l'extérieur car les résultats des unes et des autres ne sauraient être confondus. Cela permet d'évaluer l'exposition quotidienne d'une

personne selon qu'elle vit plutôt chez elle ou plutôt dehors.

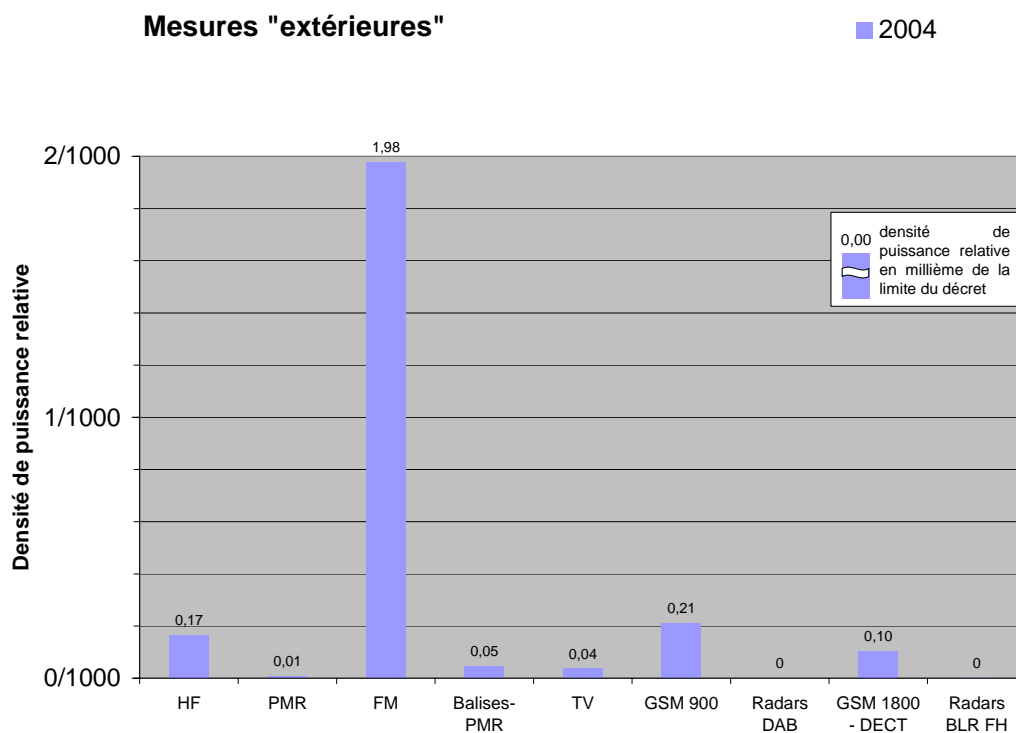


Figure 10 : Mesures extérieures en 2004 (Source ANFR)

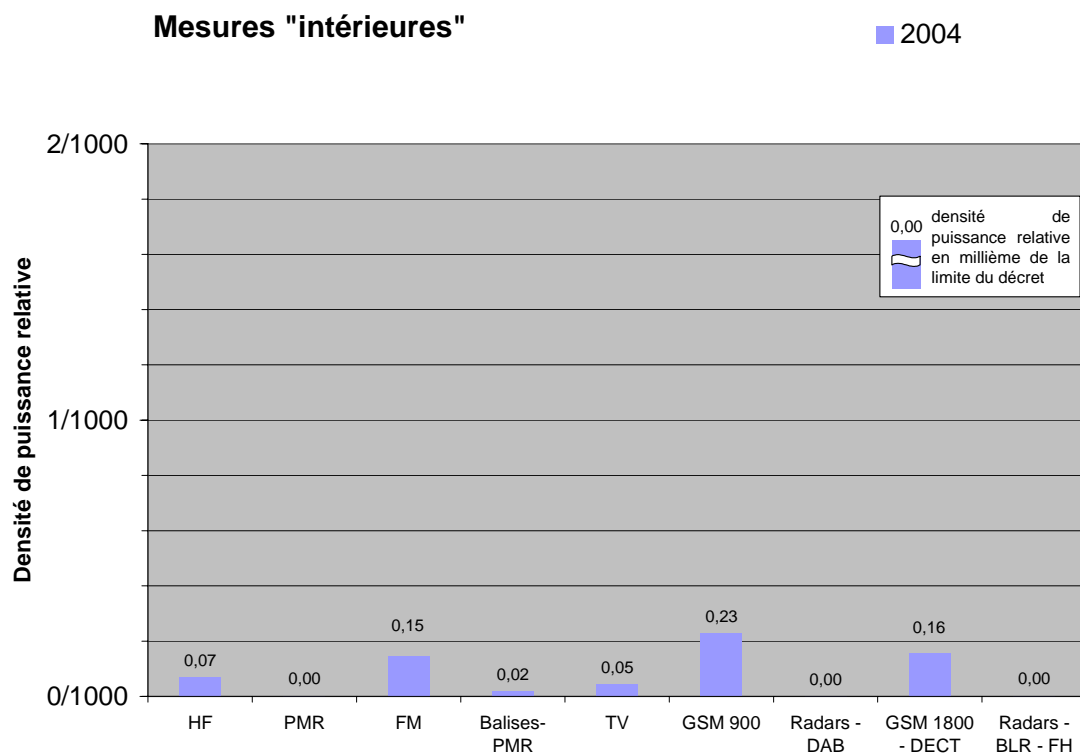


Figure 11 : Mesures intérieures en 2004 (Source ANFR)

En abscisse figurent les différents systèmes (les abréviations sont développées dans le Tableau XII). En ordonnée, leurs niveaux de densité de puissance sont rapportés à leurs valeurs limites respectives.

HF Haute fréquence	FH Faisceau hertzien
PMR Radiotéléphone privé	GSM 900 Radiotéléphonie bande 900 MHz
FM Modulation de fréquence	GSM 1 800 Radiotéléphonie bande 1 800 MHz
DAB Radiodiffusion numérique	DECT Téléphone sans fil
BLR Boucle locale de raccordement d'utilisateur	

Tableau XII : Abréviations des systèmes

La Figure 10 montre que, en extérieur, la FM continue de dominer les autres services en affichant une exposition moyenne à 2/1000 de sa valeur limite en termes de densité de puissance. Suivent ensuite dans une proportion moindre, les services « HF », « GSM 900 » et « GSM 1800 », en affichant une exposition moyenne comprise entre 0,10 et 0,20/1000.

En intérieur (Figure 11), les principaux services, à nouveau la FM, le GSM 900 et 1800, sont approximativement entre 0,10 et 0,20/1000 de leur valeur limite.

Bien que ces valeurs d'exposition moyennes soient faibles, il est à noter que les opérations de mesure in situ demeurent indispensables, car elles sont un outil de contrôle efficace. Dans son document « Panorama du rayonnement électromagnétique en France – Etat des lieux en 2004 », l'ANFR annonce qu'elle s'attache « à vérifier que les niveaux d'exposition restent extrêmement faibles par rapport aux valeurs limites », « elle veille également à ce que ne s'accroisse pas le nombre de sites actuellement faible, où les niveaux sont sensiblement au-dessus de la moyenne ».

Associé au géopositionnement des émetteurs, les campagnes de mesure sont également un moyen de communication efficace vis-à-vis du public, à l'exemple du site Internet « www.cartoradio.fr » (Cf. 4.5.2).

5 DONNEES SUR LES EFFETS BIOLOGIQUES ET SANITAIRES DES TELEPHONES MOBILES

5.1 Nouvelles données épidémiologiques

Quelques études épidémiologiques ont été publiées depuis le dernier rapport à l'Afsse. Plusieurs revues générales sur la question des relations possibles entre radiofréquences et cancers ont par contre fait l'objet de publication (Kundi, 2004 a; Elwood, 2003).

La revue faite par Elwood est essentiellement une revue des études épidémiologiques publiées jusqu'en 2003 : ses conclusions sont que les études publiées ne suggèrent pas à ce jour l'existence d'un risque mais il souligne très classiquement le manque de recul, le manque de puissance et la difficulté à évaluer correctement l'exposition réelle des sujets aux champs électromagnétiques émis par les téléphones mobiles. La revue de Kundi apporte une contribution intéressante en ce sens qu'elle replace les recherches dans le contexte du processus de cancérogenèse et rappelle les spécificités des champs électromagnétiques dans ces gammes de fréquence : il souligne la difficulté à conclure sur la base des études, tant expérimentales à long terme sur les animaux, qu'épidémiologiques chez l'homme notamment du fait de la méconnaissance que l'on a du mécanisme qui pourrait être à l'origine d'un effet

tumorigène (effet du son ?). Il souligne également la difficulté qu'il y aura dans les prochaines années à réaliser des études épidémiologiques du fait que la quasi totalité de la population utilisera un téléphone mobile et qu'il deviendra de ce fait très difficile de trouver des populations de comparaison non exposées adéquates.

Dans un autre article de synthèse (*Kundi, 2004b*), Kundi développe à nouveau ces thèmes et analyse les différentes études publiées à ce jour sur la relation tumeurs - usage du téléphone mobile. Il souligne là encore le manque de connaissances physiopathologiques permettant de monter des scénarios d'études épidémiologiques crédibles ; en effet, il est très critique sur la plupart des études menées à ce jour ; en particulier, en ce qui concerne les études cas – témoins qu'il « accuse » de ne pas être à même de montrer une relation entre des tumeurs à développement très lent comme les neurinomes et le téléphone mobile, le temps de latence de ces tumeurs entraînant automatiquement pour lui un changement dans l'usage du téléphone.

De son côté, Ahlbom (*Ahlbom, 2004*) rappelle également la difficulté mais la nécessité de prendre en compte l'exposition aux radiofréquences au niveau des tissus humains ; ceci doit passer par l'intégration de toutes les sources d'émissions qui auront des caractéristiques différentes suivant leurs fréquences. Il rappelle également que lors de l'étude des expositions à des sources lointaines, le choix de prendre la distance à la source comme indicateur de l'exposition est une très mauvaise approximation de cette exposition du fait des modifications subies par les radiofréquences en fonction du relief, des obstacles (phénomènes de réflexion...). Cette mauvaise évaluation des expositions explique qu'il n'est pas possible à ce jour de conclure à l'évidence d'un excès de cancers en relation avec les expositions aux RF, y compris celles émises par les téléphones mobiles, à travers les études publiées à ce jour. Il en est de même pour lui pour les études concernant la reproduction. En ce qui concerne les pathologies cardiovasculaires, les études publiées suggèrent la possibilité d'un risque, mais les données sont trop rudimentaires pour l'affirmer. De même, Ahlbom estime que les études réalisées autour des tours de radiotransmission, ne sont pas concluantes. En ce qui concerne les études portant sur les symptômes ressentis par les personnes proches d'antennes, il estime que la méthodologie transversale utilisée en général est inadaptée, du fait d'une mauvaise évaluation de l'exposition et des nombreux biais d'information qui entachent le recueil de données dans ce type de circonstances. En conclusion, même si aucune étude n'apporte d'élément établissant l'existence d'un risque lié aux radiofréquences, il estime que l'inverse n'est pas plus démontré, trop d'insuffisances méthodologiques empêchent d'éliminer en effet une telle hypothèse. Un élément clé pour lui réside dans la disponibilité dans un futur proche de dosimètre individuel permettant de mieux évaluer l'exposition de chaque sujet.

Dans un numéro spécial du *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health (2004)*, Johansen reprend toutes les études qu'il a publiées à ce jour sur les relations entre exposition aux champs électromagnétiques provenant d'une part des champs de fréquence extrêmement basse, d'autre part des champs créés par les radiofréquences, et la santé. Pour ce qui est des études sur les radiofréquences, il s'agit de l'étude de cohorte des souscripteurs à des abonnements de téléphonie mobile qui avait fait l'objet d'un commentaire dans le rapport d'experts antérieur. Aucun résultat nouveau n'est présenté dans cet article. Rappelons les questions majeures qui se posaient au sujet de cette étude qui ne montrait aucun excès de cancers de la tête chez ces abonnés : (i) la cohorte comprenait les souscripteurs, ce qui ne voulait pas dire qu'ils étaient les utilisateurs ; (ii) lorsque le souscripteur était une entreprise, il n'était pas pris en compte, dans l'ignorance de la (ou des) personne(s) qui étai(en)t la (les) vraie(s) utilisatrice(s) du téléphone mobile, ce qui a abouti à ne pas étudier des utilisateurs vraisemblablement fortement exposés ; (iii) il manquait du temps d'observation pour étudier les expositions prolongées ou les effets à long terme.

5.1.1 Tumeurs de la tête

Les premiers résultats des pays scandinaves participant à l'étude INTERPHONE ont été publiés par les Danois d'une part et les Suédois d'autre part. Ces premiers résultats concernent essentiellement les relations entre usage du téléphone mobile et neurinomes du nerf vestibulo-acoustique (VIII) ou du nerf facial (VII) ou du nerf trijumeau (V), qui sont des tumeurs bénignes rares; ces tumeurs sont localisées dans le conduit auditif interne, qui est certainement une des zones de la tête les plus exposées aux radiofréquences émises par les terminaux téléphoniques.

5.1.1.1 Neurinomes des nerfs craniens

a) H.C. Christensen et coll. (2004)

Cette étude concerne 106 cas incidents de neurinomes de l'acoustique, appariés sur le sexe et l'âge à 212 témoins tirés au hasard dans la population danoise. Il s'agissait de sujets âgés de 20 à 69 ans. Le taux de participation était de 80,4 % pour les cas et 64 % pour les témoins. Le recueil de données se faisait au cours d'un entretien en face à face, à l'aide du questionnaire standardisé mis au point dans le cadre de l'étude INTERPHONE, et qui permettait de recueillir des données sur toute l'histoire d'utilisation d'un mobile de chaque sujet. Pour chaque téléphone mobile utilisé, des données d'exposition, comme le nombre et la durée des appels, l'opérateur, le mode d'utilisation (kit mains libres, usage en déplacement ...) étaient recueillies. Des modèles en régression logistique conditionnelle ont été utilisés pour le calcul des odds-ratios ; les analyses ont été ajustées sur le niveau d'étude des sujets.

Dans cette étude, les auteurs danois ne mettent en évidence aucune augmentation du risque d'être victime d'un neurinome associé à l'usage du mobile quel que soit l'indicateur d'exposition utilisé. Il faut noter que les sujets de l'étude ont essentiellement utilisé la technologie GSM. Toutefois, les auteurs ont trouvé une taille moyenne des tumeurs situées du côté d'utilisation du mobile supérieure à celle des tumeurs controlatérales ; ce qui pourrait être en accord avec un rôle de facilitateur de la progression des tumeurs.

Le protocole d'étude est rigoureux ; la représentativité des cas est bonne : globalement il y a peu de différences entre répondants et non répondants ce qui devrait limiter le biais de sélection lié à un taux de non répondants plus importants chez les témoins, plutôt de classes sociales modestes et vraisemblablement moindres utilisateurs de mobiles. Un contrôle de qualité permet de vérifier qu'il n'y a pas de biais d'information entre cas et témoins. L'analyse statistique est adéquate.

Cependant, cette étude manque de recul en termes d'ancienneté d'exposition puisqu'il y a très peu de sujets ayant utilisé le téléphone plus de dix ans. De plus la puissance d'analyse est très limitée par le petit nombre de sujets dès que les analyses cherchent à étudier les tumeurs situées du côté d'usage des mobiles (fréquence, taille ...). Enfin, comme dans toutes les études antérieures, les indicateurs d'exposition utilisés permettent seulement de quantifier l'usage du mobile (malgré la prise en compte dans les analyses de l'usage de kit mains libres) mais non l'exposition réelle aux radiofréquences, puisqu'il faut prendre en compte les caractéristiques techniques de chaque appareil et des réseaux pour cela. Pour ce type d'analyse très complexe, il faudra sans doute attendre les résultats de l'étude INTERPHONE globale.

Cette étude a fait l'objet de commentaires de la part de Hardell (*Hardell, 2004, a et b*), dont une des critiques les plus importantes porte sur le fait que, dans cette étude, le nombre de cas utilisateurs de téléphone analogique est très faible alors que dans l'étude de cohorte danoise des abonnés au téléphone

mobile (Johansen¹⁶, 2001) 54 % des souscripteurs ayant souffert de tumeurs du cerveau et du système nerveux, étaient des utilisateurs du système analogique seul et 13 % des systèmes analogiques et GSM, ce qui pourrait mettre en cause la qualité du recueil d'informations de l'étude danoise. Cette critique n'est pas recevable dans la mesure où Hardell raisonne sur les cas et compare des abonnés (et non les utilisateurs réels) de réseau mobile, atteints de tous les types de tumeurs cérébrales à des cas de neurinomes réellement utilisateurs de mobile. Les deux groupes ne sont donc pas comparables : pour étudier la qualité de l'information recueillie, il aurait été plus intéressant de comparer les souscripteurs non malades (à défaut de connaître les vrais utilisateurs) aux témoins de l'étude cas-témoin ; 43,5 % des souscripteurs (99 % non malades) ont eu un premier abonnement à la technologie analogique, ce qui était le cas de 30 % des témoins utilisateurs de mobiles (+ une partie des 8 % de ceux qui ne connaissent pas la technologie du premier abonnement) ce qui replace les deux groupes à un niveau très comparable et ne supporte pas l'idée d'une méthodologie défailante dans l'évaluation de l'exposition. Par ailleurs, l'étude de cohorte concerne une période plus ancienne (où le GSM n'était pas encore très utilisé) que l'étude cas – témoin. La deuxième critique concerne l'analyse de la latéralité de la tumeur et de l'usage du mobile : Hardell et coll. (*lettre à l'éditeur*, 2004) pensent que la non mise en évidence d'un odds-ratio augmenté du côté ipsilatéral témoigne du fait que les malades atteints de neurinome ont en fait soit diminué leur usage du mobile, soit changé le côté d'utilisation de l'appareil du fait de la surdité et des acouphènes accompagnant la tumeur. Ils pensent que le fait d'une interview face à face n'est pas une bonne façon de recueillir l'information dans la mesure où la collecte de données n'est pas réalisée en aveugle. De son côté, Kundi reprend dans une lettre à l'éditeur les arguments concernant la limitation de ce type d'étude, thèse qu'il développait déjà dans l'article cité plus haut (Kundi, *lettre à l'éditeur*, 2004).

Dans leur réponse dans le même journal, les auteurs insistent sur le fait que les cas ayant plus de raisons pour rechercher de façon plus approfondie leur usage passé du mobile que les témoins, et donc le temps laissé pour la réponse dans le cas d'une enquête postale est certainement plus favorable à l'introduction de ce biais d'information qu'une étude en face à face dans laquelle la durée d'entretien n'est pas différente pour les cas et les témoins.

b) Lönn S et coll. (2004)

La même méthodologie a été utilisée dans l'étude suédoise (méthodologie de l'étude INTERPHONE). Quelques différences toutefois existent : l'appariement des témoins n'a pas été réalisé sur un mode individuel, mais sur un mode de stratification par tranche d'âge ; l'analyse statistique a utilisé des modèles de régression logistique non conditionnelle, avec prise en compte des variables d'appariement ainsi que du niveau de scolarité. Pour l'analyse, les auteurs ont considéré comme groupe témoins, la totalité des témoins interrogés dans l'étude INTERPHONE suédoise (Témoins de l'étude «tumeurs du cerveau» et «tumeurs de la parotide » compris). L'étude a concerné 148 cas et 604 témoins. Le taux de participation était de 93% pour les cas et de 72% pour les témoins. Globalement, il n'y a pas d'excès de risque d'avoir un neurinome quand on utilise un mobile. Cependant, quelques résultats sont à souligner : il semble y avoir un léger accroissement de ce risque quand la durée ($OR_{\text{plus de 10 ans}} = 1,6 ; 0,7-3,6$) et/ou la latence d'exposition ($OR_{\text{plus de 10 ans}} = 1,9 ; 0,9-4,1$) augmentent, bien que cet accroissement ne soit pas significatif. Cet accroissement semble plus le fait de l'usage de téléphone analogique (mais il y a un manque de recul certain pour le GSM). Enfin, l'analyse de la latéralité du côté d'utilisation du mobile et du côté de la tumeur montre un risque significativement augmenté pour les tumeurs ipsilatérales ($OR_{\text{plus de 10 ans}} = 3,1 ; 1,2- 8,4$; basé sur 9 cas) alors que lorsque l'utilisation est controlatérale il n'y a pas d'excès

¹⁶ Johansen C, Boice J Jr, McLaughlin J, Olsen J. Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst.* 2001; 93(3):203-7.

(OR_{plus de 10 ans} = 0,9 ; 0,2-3,2 ; basé sur seulement 4 cas). Il n'y a pas d'augmentation de l'odds -ratio avec le nombre cumulé d'heures ou avec le nombre cumulé d'appels.

La même rigueur du protocole que dans l'étude danoise est observée, notamment dans le croisement des sources de déclaration des cas, ou dans celui de contrôle du diagnostic. Il y a une plus grande puissance d'étude, notamment lors des analyses sur la durée d'exposition, la latence, le type de technologie utilisée et la latéralité. Toutefois, cette puissance est également insuffisante dans certaines analyses.

Par contre, on dispose dans cet article de moins d'explications sur les cas et les témoins non répondants, ce qui ne nous permet pas d'évaluer la plus ou moins bonne maîtrise d'un possible biais de sélection. On peut se poser la question de l'impact sur les résultats d'une analyse non conditionnelle obligeant à entrer dans l'analyse tous les facteurs d'appariement. Enfin là encore et comme dans toutes les études antérieures, les indicateurs choisis permettent d'étudier l'usage du mobile et non l'exposition réelle aux radiofréquences. En particulier, quelle est la signification d'une durée d'usage longue ou d'une latence longue (il est impossible de séparer les deux analyses, car ceux qui ont adopté le mobile il y a plus de dix ans sont souvent également ceux qui l'ont utilisé plus de dix ans), par rapport au fait qu'un usage intense (en termes d'heures cumulées ou de nombres d'appels cumulés) ne soit pas associé à un excès de risque ? Ce type de questions est difficile à étudier dans la mesure où l'on ne dispose à ce jour d'aucun élément concernant de possibles mécanismes physiopathologiques.

Au total, si des questions méthodologiques méritent d'être encore éclaircies, à la lumière de cette étude qui vient corroborer certains résultats de Hardell, plusieurs éléments vont dans le sens d'un impact possible de l'usage d'un téléphone mobile sur l'oreille interne.

Mais il est nécessaire de souligner que ces études restent des études préliminaires, dans la mesure où elles font partie de l'étude INTERPHONE, laquelle a été dimensionnée pour regrouper des cas à un niveau international (treize pays) de façon à pouvoir répondre avec une puissance statistique maximale à la question de la relation entre l'usage des téléphones mobiles et les tumeurs de la tête. Ainsi, dans le cas des neurinomes, 1000 à 1100 cas seront inclus dans l'étude, ce qui permettra des analyses beaucoup plus fines notamment sur les types de technologie, la prise en compte des facteurs confondants, l'analyse des modes d'utilisation. De même, l'énorme travail d'évaluation des appareils utilisés, des niveaux de doses émis par eux, des zones anatomiques exposées devrait permettre à terme une meilleure approche de la connaissance du risque.

c) Warren et coll. (2003)

Le nerf facial, dans sa portion intra temporale est lui aussi très exposé aux radiofréquences émises par les téléphones mobiles lors des communications ; les neurinomes du facial sont extrêmement rares. Warren a comparé 18 sujets atteints de ce type de neurinome, à 51 sujets atteints de neurinome du nerf acoustique, 72 sujets atteints de sinusites, et 69 sujets souffrant de dysphonie ou de reflux gastro-œsophagien. Aucun excès de risque en relation avec l'usage du mobile n'est retrouvé pour les tumeurs du nerf facial. Ce résultat négatif n'est cependant pas exploitable, notamment en raison du très petit nombre de cas exposés (2 cas exposés).

5.1.1.2 Tumeurs cérébrales

Par ailleurs, Stefan Lönn (*Lönn, Stockholm 2004*) a soutenu en public sa thèse sur la totalité des données recueillies dans le cadre de l'étude INTERPHONE. L'étude sur la relation entre usage du téléphone mobile et les tumeurs du cerveau fait l'objet d'un article à paraître. Le taux de participation des cas atteints de gliome était de 74 % (n=371), celui des cas atteints de méningiome de 85 % (n=273). Le même groupe de témoins que lors de l'analyse des neurinomes a servi de comparaison pour l'analyse

des tumeurs du cerveau. Aucun excès de risque n'apparaît (OR gliome = 0,8 ; 0,6-1,0 – OR méningiome = 0,7 ; 0,5-0,9) quelque soit le type d'analyse menée (pas de relation avec la durée d'usage, pas de différence si l'analyse prend en compte l'usage de téléphone analogique ou GSM, pas de différence entre les sous-types de gliomes, pas de relation entre la localisation de la tumeur et le côté d'usage du mobile, pas de différence entre les utilisateurs en milieu rural ou en milieu urbain). La méthodologie étant identique à celle de l'étude analysée plus haut, nous n'y reviendrons pas. Il est là encore nécessaire d'attendre l'étude internationale dans son ensemble pour avoir une puissance statistique satisfaisante, notamment en ce qui concerne les analyses par sous-groupe, en particulier pour celles réalisées en fonction de la latéralité de la tumeur.

Une étude descriptive réalisée dans les différents pays scandinaves tend à montrer que le taux d'incidence des tumeurs cérébrales, standardisé sur l'âge et le sexe, est très stable au cours des vingt dernières années (période d'étude : 1968 à 1998) quand on prend l'année 1983 comme année de référence (date d'introduction des techniques d'imagerie permettant une amélioration du diagnostic des tumeurs cérébrales). En particulier, ce taux n'augmente pas après l'arrivée des technologies de communication mobiles (large diffusion de la technologie GSM à partir du début des années 1990, soit un recul dans le temps de 6 à 8 ans) (Lönn, 2004 ; 2).

5.1.1.3 Tumeurs de l'oeil

L'œil a également été considéré comme pouvant être exposé aux champs émis par les téléphones mobiles. Une étude descriptive réalisée aux Etats Unis ne met pas en évidence d'augmentation de l'incidence des mélanomes de l'œil au cours des années les plus récentes (Inskip, 2003).

Rappelons cependant que des études descriptives de ce type manquent de sensibilité pour détecter une augmentation de l'incidence d'une pathologie, surtout si cette pathologie est complexe (différents types de tumeurs pouvant avoir des mécanismes très différents), si le risque recherché est très faible et si l'incidence de cette pathologie est très faible.

5.1.1.4 Tumeurs de la glande parotide

Autre zone également exposée, la glande parotide (il s'agit d'une glande salivaire située sous l'oreille au niveau de l'angle de la mâchoire inférieure).

d)Hardell et coll. (2004)

La même méthodologie que celle utilisée dans ses études antérieures a été appliquée par Hardell pour l'étude des cas de tumeurs de la glande parotide. Les cas proviennent des registres du cancer suédois et les témoins ont été choisis au hasard pour la plus grande part au sein du pool de témoins sélectionnés pour l'étude des tumeurs cérébrales, une autre partie des témoins a été sélectionnée dans le Registre suédois de la population. L'étude a concerné 267 cas (91% des cas vivants repérés) et 1053 témoins. Aucun accroissement du risque n'a été trouvé, ni en relation avec l'usage de la technologie analogique (OR = 0,92 ; 0,58 - 1,44), ni avec celui du GSM (OR= 1,01 ; 0,68-1,50) ni avec l'usage de téléphone sans fil (OR = 0,99 ; 0,68-1,43). Il n'y a pas d'effet de la latence d'exposition.

Les principales questions méthodologiques qui se posent (i) concernent le choix des témoins dont une partie est issue de l'étude sur les tumeurs cérébrales, (ii) sur le fait que 99 cas n'ont pas été inclus car ils étaient trop malades ou décédés, et (iii) sur l'évaluation de l'exposition au niveau de la glande parotide : en effet, l'exposition aux radiofréquences dans cette zone est essentiellement délivrée par certains appareils (flip) et très peu par les autres appareils. L'intérêt de l'analyse en fonction des sous-types histologiques des tumeurs et du type de technologie est faible compte-tenu des très petits effectifs dans

chaque type. Il est donc très difficile de conclure définitivement à la non existence d'une relation entre usage de mobile et tumeurs de la parotide dans ce contexte.

5.1.2 Autres pathologies

Johansen (*Johansen, 2004*) rappelle que sur la base de l'étude des effets potentiels des ELF 50 Hz et des mobiles, il n'y aurait aucune preuve de danger de troubles cardiovasculaires, ou neurodégénératifs. Aucune nouvelle étude n'est parue sur ce thème depuis le dernier rapport.

5.1.3 Effets subjectifs

L'étude de *Balikci et coll. (2004)* est une enquête-questionnaire de 795 personnes (dont 146 non utilisateurs). Après traitement statistique (ANOVA), les effets rapportés sont de type: irritabilité, maux de tête, perte de mémoire et de réflexes, inattention. En revanche, il n'est pas observé d'augmentation significative des vertiges, secousses dans les mains, sensation d'inconfort, sensations auditives. Cette étude pose le problème, habituel aux études de type transversal, de la maîtrise des biais de sélection et d'information (par exemple, peu de détails sont donnés quant au type de questionnaire utilisé, or en ce qui concerne les symptômes étudiés, le recueil d'information est délicat). De plus, les analyses statistiques ne sont pas les plus appropriées et rendent difficile l'interprétation des résultats.

Ce type de publications pose la question de la pertinence des études qui ne maîtrisent pas correctement les méthodologies d'investigation épidémiologique.

Wilen et coll. (Wilen, 2003) ont repris l'étude réalisée en Suède et Norvège sur les symptômes ressentis par les sujets utilisant un mobile, et, tout en standardisant sur les 4 types d'appareil les plus utilisés étudient la relation entre les DAS émis par chacun des appareils et les symptômes ressentis par les sujets. 2197 personnes téléphonant au moins 2 minutes par jour ont été intégrées à l'étude. Les DAS émis par chaque appareil à trois niveaux de la tête (au-dessus, au niveau et au-dessous de l'oreille) ont été calculés. Les symptômes ressentis pendant cet usage, ainsi que les caractéristiques des appels (nombre d'appels et durée) avaient été recueillis à l'aide d'un questionnaire. Une analyse univariée de variance (ANOVA) a permis d'étudier la relation entre symptômes et DAS. Certains symptômes comme une sensation d'inconfort, une diminution de la concentration, une sensation de chaleur au niveau de l'oreille ou des maux de tête semblent associés au niveau de DAS. Cette étude complète la première étude. Toutefois, le fait que de nombreux tests aient été réalisés augmente la probabilité d'observer des résultats statistiquement significatifs.

5.1.4 Utilisation du téléphone mobile lors de la conduite automobile

Outre les très nombreuses études expérimentales (cf plus bas) qui continuent à étudier l'impact de l'utilisation d'un mobile lors de la conduite automobile, il est intéressant de signaler l'étude québécoise de *Laberge-Nadeau et coll. (2003)* chez les usagers de la société d'assurance, SAA, Québec, utilisateurs de GSM. Cette très importante étude s'est efforcée de maîtriser le mieux possible les biais liés à la mesure de l'exposition au mobile (avant ou lors d'un accident), présents dans les études antérieurement publiées. Cette équipe (qui fait autorité en épidémiologie accidentologique) montre que le risque relatif d'accident associé à l'usage du téléphone mobile au volant serait plutôt de l'ordre de 1,2-1,5 (donc moindre que ce qui avait été préalablement calculé, mais cependant réel), une fois pris en compte les autres facteurs de risque bien connus (comme la vitesse, l'âge, le nombre de kilomètres annuellement parcourus. Cependant, le risque relatif augmente avec la consommation téléphonique : il double quand le

nombre d'appels est de l'ordre de 190 appels/mois (6-7/j) chez les hommes et de 115 appels / mois (4/j) chez les femmes.

Pöysti et coll. (en cours de publication) publient une étude finlandaise (N=834, prenant en compte l'âge, le sexe, le kilométrage). Le questionnaire est de type auto évaluation (contrôle, rapidité, performance, vitesse de réaction...). Au vu de l'auto évaluation, les accidents résulteraient de choix tactiques/stratégiques du conducteur, et non d'un risque accru qui serait dû aux mobiles. La diminution de la vigilance occasionnée par l'usage du mobile lors de la conduite peut être compensée par des stratégies diverses et plus ou moins efficaces selon les personnes jusqu'à un certain point : par exemple, moindres performances des femmes plus âgées, mais qui sont aussi le moins souvent des utilisatrices du téléphone au volant.

Une étude néo-zélandaise (*Sullman & Baas, 2004*) analyse l'incidence de l'utilisation de téléphones mobiles en conduisant sur le nombre d'accidents. Les questionnaires furent distribués dans les stations services. Les réponses en termes de fréquences d'accidents étaient déclarées par les personnes (et non par les assurances). Le profil type du « téléphoneur » est apparu comme un homme jeune, citadin conduisant vite une voiture récente et puissante, avec un kilométrage annuel important (ce même profil est retrouvé par *Pöysti et coll.* dans l'étude mentionnée ci-dessus). Un fois les données descriptives et démographiques compensées, il n'y a pas de différence entre utilisateurs et non utilisateurs de mobiles. Cependant on observe un parallélisme entre le profil type du téléphoneur au volant et le profil du sujet à risque aggravé.

Plusieurs autres études montrent que l'usage du téléphone au volant est souvent corrélé avec une conduite à risque : vitesse élevée, moindre respect du code de la route, non port de la ceinture de sécurité (*Eby, 2003*). Il est plus fréquent chez les hommes, en particulier chez les jeunes et chez les sujets d'âge moyen (*Sullman, 2004*). La même constatation est faite par *Wilson et coll. (2003)*. Malgré les restrictions légales concernant l'usage du téléphone au volant, *Taylor et coll. (2003)* montrent que plus de 20 % des conducteurs hommes d'âge moyen ou jeunes téléphonent alors qu'ils sont en train de conduire, et que cet usage est plus fréquent en soirée qu'en matinée ou après midi.

5.1.5 Conclusions sur les données épidémiologiques :

La parution d'une étude (scandinave) mettant en évidence un possible accroissement du risque de survenue d'un neurinome du nerf vestibulo-acoustique lors d'un usage prolongé du mobile, vient renforcer le doute émis par deux autres études scandinaves précédentes, en l'absence toutefois de compréhension à ce jour des mécanismes physiopathologiques possibles. L'étude danoise de son côté n'a pas trouvé d'augmentation du risque de neurinomes mais une taille moyenne des tumeurs plus importante pour les tumeurs situées du côté d'usage du mobile a été observée. Cependant, les analyses statistiques encore peu poussées, liées aux effectifs toujours insuffisants de ces études, ne permettent pas de tirer des conclusions franches qui ne seront sans doute possibles qu'après la publication des données de l'étude INTERPHONE générale. Cette étude permettra d'approfondir la relation cause-effet en améliorant l'évaluation de l'exposition au niveau des tissus susceptibles d'être concernés par le développement de tumeurs. Cette étude internationale ne répondra cependant pas à la question d'une possible sensibilité accrue des enfants. Par ailleurs, il se peut que le recul soit encore insuffisant en termes de temps de latence pour évaluer le risque de développer des tumeurs d'évolution très lente.

Les nouveaux éléments apportés par la thèse de Lönn ne montrant pas d'augmentation du risque pour les autres tumeurs de la tête, notamment du cerveau vont à l'encontre des résultats antérieurs observés également en Suède par Hardell. Il reste nécessaire là encore d'attendre les résultats de l'étude INTERPHONE qui seule aura une puissance statistique suffisante pour éclaircir la question.

L'usage de téléphones émettant aux DAS les plus élevés pourrait entraîner chez certains sujets des symptômes locaux, ce qui avait déjà été évoqué lors du rapport d'expertise précédent.

Notons l'insuffisance de données sur les autres types de pathologies en particulier neurologiques.

Le risque accidentel pourrait être moins élevé que celui mesuré dans les premières études mais il reste bien réel. L'usage du téléphone mobile s'inscrit dans un profil général de personnes à risque d'accident de la circulation (hommes jeunes, réalisant de très nombreux déplacements, et peu soucieux de sécurité). La distraction entraînée par le téléphone peut être compensée, mais seulement jusqu'à un certain point (par exemple, moindres performances des femmes plus âgées, mais qui sont aussi le moins souvent des utilisatrices du téléphone au volant).

5.2 Nouvelles données expérimentales sur l'homme

Pendant la période 2002-2004, quelques publications de caractère général ont vu le jour. Ces mises au point n'apportent pour l'essentiel pas de données nouvelles très originales, mais elles ont l'avantage de résumer certaines tendances générales.

Les deux revues de *d'Andrea et coll. (2003, a, b)* font le point sur l'état actuel des connaissances, et surtout sur les incertitudes, qu'il s'agisse de l'homme ou de l'animal. S'agissant de l'homme, on note la possibilité d'effet sur le tissu cérébral, peut-être même en absence d'action thermique. Les conclusions restent encore très hésitantes, et il est difficile de conclure au sujet de l'existence de risques sanitaires chez l'homme, et surtout de comparer les investigations, compte tenu des multiples paramètres en jeu, fréquence, orientation, modulation, densité de puissance, durée d'exposition. La question essentielle reste finalement de savoir quels sont, en absence d'effets thermiques mesurables, les effets sanitaires de nature non thermique. La réalité d'une action thermique est avérée, laquelle est évidemment nocive et a été démontrée par un comportement d'aversion ou de fuite chez l'animal. Or il ne semble pas que des expériences de ce type aient été entreprises chez l'humain.

Les travaux ne figurant pas dans ces revues sont décrits ci-dessous.

5.2.1 Etudes expérimentales sur les effets subjectifs

Des recherches ont été poursuivies sur les effets subjectifs de l'utilisation des mobiles. Soit que les utilisateurs se soient plus ou moins spontanément plaints de désagréments divers, soit qu'ils aient été interrogés lors d'une enquête, soit enfin que des expérimentateurs se soient activement préoccupés du problème et aient conçu quelques expériences. Il est clair qu'il est souvent difficile de distinguer entre les trois stratégies d'investigation et les études restent fréquemment insuffisantes sur le plan dosimétrique.

On notera les conclusions du récent congrès tenu sur ce sujet à Prague en octobre 2004 (Cf. 3.2.14) qui ne constatent pour l'instant que des symptômes atypiques, rencontrés dans toutes les situations de malaise lié à l'environnement, et qui font que l'existence d'une véritable hypersensibilité aux champs électriques ou radio-fréquences n'est pas pour l'instant démontrée.

5.2.2 Fonctions cognitives

Certaines études ont concerné les voies acoustiques centrales. *Bak et coll. (2003)* ont comparé les réponses cérébrales évoquées par des stimuli sonores pendant ou en absence d'une émission de téléphone GSM (900 ou 1800 MHz) sur 45 volontaires jeunes des deux sexes. Aucun effet n'a été constaté sur la conduction dans le nerf auditif. Toutefois, en l'absence de précision dosimétrique, ces résultats sont difficilement appréciables.

Globalement la même approche a été utilisée par un groupe japonais (*Arai et coll, 2003*) pour lequel 30 minutes d'exposition à un signal de téléphone mobile n'ont eu aucun effet à court terme sur les voies auditives centrales (en pratique sur la réponse auditive du tronc cérébral), ceci sur 15 volontaires exposés à 800 MHz, à 0,8 W, en position de conversation durant 3 minutes.

Une troisième étude qui portait sur les voies auditives centrales, était fondée sur une tâche de discrimination de type « odd ball » (reconnaissance de chiffres rares entendus dans une série) avec analyse simultanée des potentiels évoqués cognitifs (*Hamblin et coll, 2004*). Douze participants ont suivi deux sessions à une semaine d'intervalle, l'une avec exposition de 1 heure au GSM (DAS évalué à 0,87 W/kg), l'autre avec exposition fictive. Quelques modifications étaient observées pour les composantes liées à la cible ainsi que quelques augmentations du temps de réaction, mais pas d'altération de la précision de la performance. En conclusion, il existe un effet traduit électrophysiologiquement, mais l'échantillon a été très modeste et la prudence s'impose.

Hinrichs & Heinze (2004) ont réalisé une étude évaluant les effets des GSM 1800 sur la mémoire verbale. Les 12 sujets furent d'abord soumis à une présentation d'une liste de mots, puis, dans une seconde séance, durent distinguer les mots nouveaux par rapport à ceux présentés la première fois. L'étude a comporté un enregistrement magnétoencéphalographique des réponses caractéristiques à 350-400 ms dans la phase de rappel. Chaque sujet a suivi deux sessions, l'une avec exposition au GSM (DAS 0,61 W/kg), l'autre sans exposition. Les auteurs signalent une altération des composantes analysées, mais pas de changement significatif du comportement.

L'étude réalisée par une équipe finlandaise (*Krause et coll, 2004*) a porté sur une classe différente de réponses cérébrales, à savoir les "synchronisations et désynchronisations liées à l'événement". On décrit sous ces termes des modifications soudaines des rythmes électrocorticaux, provoquées par un stimulus ou une action, soit en les augmentant, soit en les supprimant. Chez 24 sujets, ces phénomènes ont été étudiés dans les bandes de fréquences 4-6, 6-8, 8-10, et 10-12 Hz pendant que les volontaires accomplissaient une tâche de mémorisation auditive. En double aveugle, tous les sujets exécutaient cette tâche soit avec, soit sans exposition à un champ 902 MHz (DAS de 0,88 W/kg sur 1g et 0,65 W/kg sur 10 g). L'équipe ne retrouve pas les résultats observés dans une étude antérieure.¹⁷ Ils n'avaient précédemment pas rapporté d'effets significatifs de l'exposition aux RF, sur le nombre de réponses incorrectes dans la tâche de mémorisation, alors qu'un nombre croissant d'erreurs a été observé ici. Autrement dit, on domine mal dans ce type d'étude, les raisons de la variabilité. L'état ORL et neurologique n'a apparemment été contrôlé que sur interrogation.

D'autres études ont porté sur l'activité électrique "spontanée" utilisée comme marqueur d'une éventuelle modification fonctionnelle cérébrale. *D'Costa et coll. (2003)* ont observé 10 sujets éveillés exposés à intervalles randomisés de 5 minutes à un GSM pointé derrière la tête. Le GSM 900 fonctionnait soit écouteur coupé, l'appareil émettant à puissance maximale, soit en stand-by, normal et ouvert. On a comparé les bandes EEG sous exposition réelle ou fictive en simple aveugle. L'analyse de distribution des spectres de puissance a montré des modifications dans les bandes α (8-13 Hz) et β (13-32 Hz) dans le mode pleine puissance. Une seconde analyse plus poussée a révélé que dans 7 bandes de fréquences précises, les différences n'étaient pas les mêmes. Les auteurs concluent à des différences et un effet des GSM, en mode parlé et non en mode stand-by. Si l'étude statistique est bien menée, il n'y a pas de mention de dosimétrie, ce qui limite totalement la portée de ces résultats positifs, en particulier au vu de la position très inhabituelle et non justifiée du téléphone.

¹⁷ Krause, C. M.; Sillanmaki, L.; Koivisto, M.; Haggqvist, A.; Saarela, C.; Revonsuo, A.; Laine, M., and Hamalainen, H. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport*. 2000 Mar 20; 11(4):761-4.

Kramarenko et Tan (2003) ont enregistré par télémétrie l'activité électrocorticale de sujets exposés ou non à un téléphone mobile GSM-900, en état de veille au contact du crâne. Après une période de 10 à 15 minutes, l'EEG a présenté une activité de type delta (2,5 à 6,0 Hz). Elle apparaît également chez l'enfant, mais avec des rythmes plus lents encore. Ces résultats retiennent l'attention, en ce sens que la présence d'activité delta chez le sujet éveillé n'est pas normale et sans doute la réplique s'impose-t-elle. Malheureusement, les conditions d'expérimentation sont telles que ces résultats ne peuvent être pris en considération. En ce qui concerne la dosimétrie, il n'est présenté qu'une cartographie des champs électromagnétiques extraite d'une modélisation dont on ne connaît que le nom du logiciel de simulation. Il n'est pas précisé si le modèle de la tête humaine est aussi équipé des 16 électrodes. Enfin, le signal EEG est lui-même transmis par un système de télémétrie RF très sommairement décrit. L'ensemble de ces éléments fait qu'on ne peut que faire d'extrêmes réserves sur ces résultats.

Hinrikus et coll. (2004) ont réalisé une étude très détaillée des modifications de l'EEG chez 20 sujets volontaires sains avec et sans exposition à des micro-ondes (450 MHz pulsé modulé à 7 Hz avec un facteur de remplissage de 50%). Une très bonne étude dosimétrique est également présentée. Les niveaux de DAS sont ici très faibles : 9,5 mW/kg. Ces modifications sont comparées à celles induites par des stimulations visuelles (modulation on-off à 16 Hz). Ils observent des modifications consistantes avec les stimulations visuelles, beaucoup moins stables avec les micro-ondes, notamment d'un sujet à un autre, avec augmentation ou diminution de certains rythmes de l'EEG et même des différences inter-hémisphériques variables. Globalement les différences sont non significatives ; on peut se demander ce que cette étude, avec des champs très faibles, peut apporter au débat sur les effets biologiques et sanitaires des micro-ondes !

Une autre équipe allemande (*Maier et coll., 2004*) a réalisé sur 11 volontaires un test psychologique de discrimination auditive (seuil de délai de perception entre deux stimuli successifs). Chaque sujet participait à deux séances de tests séparées par une période de repos de 30 minutes, avec ou sans exposition à distance au champ GSM pulsé (10 W/m^2). Sur 9 des 11 sujets, les résultats furent plus mauvais après exposition réelle. La conclusion des auteurs reste classique : éviter les utilisations prolongées, surtout chez les sujets à risque (enfants, sujets âgés, malades). Les données dosimétriques apparaissent ici aussi insuffisantes.

Curcio et coll., (2004) ont examiné les effets des RF à la fois sur la performance cognitive et sur la température tympanique. Les sujets ont formé deux groupes, l'un exposé au 900 MHz avant la session test, l'autre exposé au même signal pendant la session de recueil des données (chaque exposition durant 45 minutes). Les sujets sont soumis en double aveugle à quatre épreuves de performance : un temps de réaction acoustique simple, une tâche de recherche visuelle, une soustraction arithmétique et une tâche de temps de réaction (TR) de choix acoustique. En outre, la température tympanique était mesurée 5 fois au cours de chaque session. Les résultats débouchent sur un meilleur score dans les deux tâches de TR auditives, accompagné d'une augmentation de la température tympanique du côté de l'exposition. Un parallélisme s'est dessiné entre les deux classes d'effets tel que l'un et l'autre ne se modifient qu'au bout de 25 min d'exposition. La dosimétrie a été obtenue par simulation sur fantôme ($0,5 \text{ W/kg}$). Les discussions théoriques rattachent ce délai à celui de la modification de la vascularisation cérébrale.

Les Finlandais (*Haarala et coll., 2003a, Haarala et coll., 2004*) ont répliqué et étendu leur étude antérieure de 2000 sur les effets du GSM 900 sur le fonctionnement cognitif. Ils avaient, dans cette précédente étude, observé que sous exposition au GSM, le TR dans une tâche de temps de réaction simple était raccourci et le temps d'une opération arithmétique diminué. Le progrès a consisté à introduire dans cette nouvelle étude des tests multicentriques et une méthode en double aveugle. Soixante quatre

sujets (dont 32 hommes) furent soumis à une batterie de 9 tâches cognitives dans deux laboratoires distincts et indépendants, ceci deux fois, une fois sous GSM allumé, une autre sous GSM éteint. Les temps de réaction ont été évalués ainsi que la précision. Il n'y eut aucune différence significative de performance, ni entre laboratoires ni entre sexes. Les résultats antérieurs n'ont donc pas été retrouvés. Les auteurs concluent que les RF n'ont aucun effet sur les performances. S'il y a effets, ceux-ci sont en tout cas trop minimes pour être saisissables avec la méthode employée. Ici aussi, on peut estimer qu'il manque certaines mesures ou calculs de dosimétrie.

Lee et coll. (2003) ont analysé 78 étudiants choisis au hasard, exposés au mobile placé sur la tête en position d'utilisation normale, et soumis à des tests d'attention. Ils constatent que les performances sont améliorées par l'exposition, ceci de manière dose-dépendante.

Une étude britannique (*Smythe et Costall, 2003*) portant sur un groupe de 33 hommes et 29 femmes concerne l'effet du GSM-1800 sur un test de mémoire à court terme et à plus long terme (1 semaine). La dosimétrie n'est pas présentée, mais le niveau de DAS serait de 0,79 W/kg (données du constructeur). Il semble que l'exposition au GSM ait des conséquences fonctionnelles (facilitation de la performance), mais seulement chez les hommes, les femmes ne témoignant d'aucune modification significative.

Des chercheurs suisses de Zürich ont publié deux articles qui à la fois se préoccupent de dosimétrie, avec beaucoup de soins d'ailleurs, et des effets proprement dits sur le sommeil (*Huber et coll., 2003 ; Kuster et coll., 2004*). L'étude dosimétrique détaillée (avec simulations et mesures dans des modèles de tête) a été réalisée pour vérifier les DAS effectivement atteints dans le cerveau lors des expérimentations. Les niveaux de DAS atteints allaient de 0,1 à 1,5 W/kg suivant le système d'exposition et la région du cerveau concernée. Les auteurs rappellent que dans deux études précédentes, ils avaient montré des effets de RF similaires à celles des mobiles (900 MHz ; maximum du DAS 1 W/kg.) sur le cerveau de sujets sains, exposés soit par intermittence pendant leur sommeil de nuit (8 heures) soit dans la période de veille (30 minutes) qui précédait un sommeil de jour de 3 heures. La présente étude élargit ces deux études, avec une dosimétrie aussi élaborée que possible, tenant compte de la variabilité et des incertitudes et s'appuyant sur des études sur fantôme prenant en compte 24 paramètres d'équivalents tissus. Comparée aux conditions témoin (exposition à un leurre inactif) la puissance spectrale de l'EEG pendant le sommeil lent a témoigné d'un accroissement dans la bande 9-14 Hz et ceci dans les deux expériences, et sans différences topographiques, de sorte que, même en cas d'exposition unilatérale, les modifications EEG étaient bilatérales, suggérant une action possible sur les niveaux sous-corticaux (thalamiques). Dans l'esprit des auteurs, ces résultats sur l'EEG ne sont que préliminaires, et seront à poursuivre. D'ailleurs, *Kuster et coll.* traduisent leur souci de déterminer au mieux les conditions d'exposition aux RF, persuadés que bien des résultats annoncés ici et là se contredisent en raison de mesures inexactes ou incomplètes. La discussion porte sur la meilleure manière d'évaluer le signal, la distribution des champs, la puissance ainsi que les dispositifs optimaux pour la dosimétrie.

5.2.3 Fonctions physiologiques

Dans le domaine de la thermorégulation, et à la suite de leurs travaux publiés en 2001¹⁸, *Adair et coll. (2003)* ont réalisé une nouvelle étude thermo-physiologique (production et déperdition de chaleur) chez 6 volontaires sous exposition dorsale (corps entiers) à l'aide d'ondes RF continues à 100 MHz avec trois densités de puissance testées à 3 températures ambiantes ainsi qu'une exposition fictive (30 minutes de période témoin, 45 minutes de RF ou fictive, puis 10 minutes de témoin). Aucune modification dans la production métabolique de chaleur n'a été enregistrée. Même la température cutanée n'était pas affectée

¹⁸ Adair, E. R.; Mylacraine, K. S., and Cobb, B. L. Partial-body exposure of human volunteers to 2450 MHz pulsed or CW fields provokes similar thermoregulatory responses. *Bioelectromagnetics*. 2001 May; 22(4):246-59.

(sauf la peau de la cheville) (3-4 °C). On observe peu de changements de la température œsophagienne. Ces auteurs ont étudié, dans une autre publication (*Foster et Adair, 2003*), l'effet de l'exposition à diverses fréquences (100, 450, 2450 MHz) et diverses conditions expérimentales, d'un modèle thermorégulateur, ceci à des énergies comparables aux conditions réelles. Bien que l'ensemble de ces études ne concerne pas directement les fréquences GSM (expositions à 100 MHz) (*Adair et Black 2003; Allen et coll., 2003*), elles soulignent de l'avis des auteurs que "les capacités de thermorégulation sont, chez l'homme, supérieures à celles de tout autre organisme vivant testé". Ceci démontre une fois de plus le caractère « conservateur » des extrapolations de l'animal à l'homme.

Téléphones mobiles et peau : Monfrecola et coll. (2003) et Roelandts (2003) observent chez des volontaires humains, une augmentation significative du débit sanguin micro-circulatoire de l'oreille externe, proportionnelle au niveau d'activité du téléphone (de 61% au début jusqu'à 158 % lorsque le téléphone est en communication), et réversible. En même temps se développent, chez 27/30 des sujets, des rougeurs et sensations de chaleur au niveau du pavillon de l'oreille. Malheureusement une étude comparative avec des téléphones fixes aurait dû servir de contrôle. On ne peut rien en conclure quant aux incidences sur le cancer de la peau. La question est posée sur les effets à long terme ou cumulatifs.

Dans le domaine cardio-vasculaire, on retient peu de publications. Dans la publication turque de *Celik et Hascalik (2004)* l'étude porte sur l'effet des mobiles sur le rythme cardiaque de base du fœtus, accélérations et ralentissements. Quarante femmes enceintes ne subissant aucun test stressant ont été examinées. Elles tenaient le mobile en main, soit en repos soit en l'utilisant, ceci pendant chaque fois 5 minutes. Une séance analogue avait lieu, mais sans téléphone pendant 10 minutes. Le résultat était une absence d'effet sur le rythme fœtal, ni accélération ni décélération. Le problème est intéressant, mais il mérite toutefois une plus grande rigueur méthodologique et des mesures plus précises pour pouvoir accepter les conclusions d'innocuité. Il est à souligner que du point de vue de l'éthique, ce type d'étude pose question.

Dans une étude finlandaise de *Tahvanainen et coll. (2004)*, les auteurs rappellent une investigation récente qui avait mentionné le danger d'un accroissement de la tension artérielle après 35 minutes d'exposition à un signal GSM-900. Les auteurs ont réalisé une expérimentation en double aveugle avec 32 sujets sains soumis à une exposition au GSM-900 (1,6 W/kg) et 1800 (0,7 W/kg) et à une exposition fictive (téléphone éteint), ceci dans des sessions séparées. Ils mesuraient la pression artérielle (par brassard) et le rythme cardiaque pendant et après les 35 minutes d'exposition (vraie ou fictive). Les réponses cardiovasculaires ont été suivies en termes de pression, de rythme cardiaque en cours de respiration contrôlée, de respiration spontanée, de manœuvre de Valsalva, d'hyperpnée et de test sur table oscillante. La pression artérielle et le rythme cardiaque n'étaient pas modifiés significativement pendant les 35 minutes et même après l'exposition à 900 ou 1800 MHz, par rapport à l'exposition fictive.

Haarala et coll. (2003b), présentent une étude pionnière du débit sanguin cérébral par TEP¹⁹ sur 14 sujets droitiers en double aveugle. Pendant le balayage TEP, le sujet effectuait une tâche de mémoire visuelle. L'exposition à un mobile actif a produit une relative décroissance du débit sanguin cérébral régional bilatéralement dans le cortex auditif mais pas de modifications dans la zone d'exposition maximale. Il se pourrait que les RF aient un effet artéfactuel sur le système d'acquisition. Les auteurs admettent que ce travail devra avoir une suite. Nous sommes probablement là dans un domaine difficile,

¹⁹ Tomographie par émission de positons

où le dépistage des artefacts instrumentaux sera indispensable, avant d'espérer des conclusions acceptables.

5.2.4 Paramètres biologiques humains

Assez curieusement, les recherches impliquant des paramètres biologiques ou sériques n'ont pas, à notre connaissance, fait l'objet de nouvelles investigations chez l'homme.

5.2.5 Etudes de cas

Les études de cas sont intéressantes dans la mesure où elles attirent l'attention sur une question, en particulier quand les observations provenant *d'horizons différents* se répètent : elles permettent alors de susciter des hypothèses qui serviront à l'élaboration d'études épidémiologiques ou expérimentales. Mais à aucun moment, une étude de cas ne peut être prise comme prouvant une relation cause-effet, à l'exception des troubles aigus, lorsque la suppression de l'exposition entraîne manifestement la disparition des symptômes.

Sur le thème de la téléphonie mobile, plusieurs publications, fréquemment des mêmes auteurs, *Westerman et Hocking, (2004)* signalent les symptômes locaux qui ont par ailleurs été étudiés lors d'études épidémiologiques citées plus hauts. Quelques accidents anecdotiques (brûlures) liés à un mauvais usage du mobile ont été également rapportés (*Potokar, 2003 ; Kato, 2003; Seishima, 2003*).

5.2.6 Interférences avec la fonction de conduite automobile

De nombreuses études expérimentales humaines se sont poursuivies sur les risques d'accidents encourus par les usagers du téléphone mobile : elles soulignent toujours la diminution de vigilance que cet usage entraîne, mais selon des niveaux et des circonstances très divers.

Dans une étude sur 42 volontaires, *Hancock et coll., (2003)*, montrent l'existence d'une distraction liée au mobile : lenteur de réaction, freinage plus violent, violations de la signalisation routière, cette distraction variant cependant avec les sujets de manière assez importante. *Lesch et Hancock (2004)*, étudient 36 volontaires recrutés sur annonces par questionnaire socio-démographique et classes d'âge et sexe, à l'aide de tests de temps de réaction de conduite (distance de freinage, arrêt d'urgence) et d'expériences d'attention-mémorisation. La cotation de la fréquence et de la perception des appels est chiffrée par le patient. Les données sont traitées par analyse de variance et tests des rangs de Spearman. Les auteurs mettent en évidence des différences entre sexe et âge (moindres performances des femmes, plus âgées). Par ailleurs, il apparaît que les sujets ne sont pas conscients de leur perte de performance lors d'un appel.

D'autres avis sensiblement plus nuancés se font actuellement jour. *Barkana et coll. (2004)*, en se fondant sur une méthode originale d'évaluation de la performance attentionnelle dans le champ visuel, prouvent que l'usage du téléphone cellulaire en kit mains libres réduit notablement cette attention, mais chez certains sujets seulement. Ils préconisent en somme que l'interdiction de téléphoner en conduisant puisse être modulée selon les cas individuels (mais sur quelles bases ?). *Matthews et coll. (2003)* concluent également de leur étude (sur 13 volontaires) que le kit mains-libres permet une moindre interférence de la fonction de communication téléphonique avec la fonction de conduite.

5.2.7 Conclusions sur les études expérimentales humaines

Au terme de cet examen, on aimerait pouvoir dégager quelques idées nouvelles de cette suite de résultats, le plus souvent négatifs, mais presque toujours entachés d'incertitude. Il est clair qu'un trop grand nombre d'investigations manque cruellement de données dosimétriques précises. La dosimétrie n'est pas une entreprise facile, mais l'effort doit se concentrer sur elle, car seules des études, menées dans des conditions globalement identiques d'exposition, pourront, par comparaison, faire avancer vers le verdict. Il est à remarquer que certains résultats laissent apparaître un effet favorisant la performance. D'autre part, certaines explorations font état d'altérations de marqueurs (en particulier électro-physiologiques) alors que les tests comportementaux restent normaux, ce qui suggère, ou bien que ces tests comportementaux sont insuffisamment sensibles, ou bien qu'ils n'ont pas de relation précise avec les marqueurs.

5.3 Nouvelles données sur l'animal

5.3.1 Système nerveux et comportement

5.3.1.1 Barrière hémato-encéphalique (BHE)

Les études portant sur l'intégrité de la BHE, en particulier à faible niveau d'exposition n'ont pas jusqu'à présent connu de conclusion définitive. *Salford et coll. (2003)* avaient exposé des rats durant 2 heures à un signal GSM-900, à niveau non-thermique et observé des augmentations de perméabilité de la barrière hémato-encéphalique. Plusieurs études de réplication sont en cours de publication ou de réalisation et il faudra attendre une année environ pour en avoir tous les résultats. Il reste que le bilan que l'on peut faire aujourd'hui (cf. revue de *D'Andrea et coll. 2003* et l'atelier de Reisenburg) est que les effets sur la barrière hémato-encéphalique semblent se produire seulement à un niveau thermique. Une confirmation très récente est venue du groupe de Cassel à Strasbourg, qui, dans le cadre du programme européen Perform-B, a obtenu des résultats négatifs²⁰, à l'aide d'une méthode indirecte d'évaluation de la perméabilité de la BHE, sur des rats exposés à 2,45 GHz comme dans les expériences de Lai portant sur la mémoire.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR, Environ Health Perspec, 2003, 111(7):881-3 <i>Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to micro waves from GSM mobile phones.</i>	- source : GSM puissance maximale (2 heures, tem - DAS : de 0,2 - 2-20 mW/kg - dosimétrie par FDTD	Rats Fisher (24 animaux) - évolution 50j avant sacrifice Intégrité neuronale dans le cortex, hippocampe, ganglions de la base et hémisphères Anomalies (passage albumine) jugées semi quantitativement statistiques : tests non paramétriques (Kruskall Wallis ou U)	Lésions neuronales significatives (p<0,02%)

²⁰ Cosquer B, Pereira de Vasconcelos A, Fröhlich J, Cassel J-C. Blood-brain barrier and electromagnetic fields: effects of scopolamine methylbromide on working memory after whole-body exposure to 2.45 GHz microwaves in rats. Behavioural Brain Research (soumis et rapport Perform B)

5.3.1.2 EEG

Comme précédemment, on retrouve des modifications des spectres EEG en puissance pour des niveaux thermiques (*d'Andrea et coll., 2003*) à l'exception du groupe de Marino (*Marino et coll., 2003*), qui observait une déstructuration brève de l'EEG (300 ms) chez le lapin. Cependant, la portée de ces observations est fortement limitée par le système d'exposition non caractérisé et l'absence de dosimétrie.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/ Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Marino AA, Nilsen E, Frilot C, 2003, 24(5) :339-46. Bioelectromagnetics <i>Non linear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation</i>	- source : TDMA (824-849 MHz 600 mW puissance max radiée - Antenne branchée au téléphone placée soit à 1cm au dessus de la tête - DAS : champ réel non mesuré - dosimétrie inexistante	Lapin (10 animaux) -EEG Méthode d'analyse EEG non linéaire (intégration dans l'espace des phases) : comparaison de zones avec des témoins -statistiques : comparaison d'époques contrôles/exposées ; test W de Wilcoxon ;	Les effets (altérations aléatoires de EEG) apparaissent à 100 ms et durent 300 ms. Parallèlement, l'EEG est déstructuré. Pas d'effet si téléphone placé sur le thorax. Conclusion des auteurs : les effets paraissent liés à l'absorption des ondes par le cerveau

5.3.1.3 Apprentissage, comportement, mémoire

La revue de D'Andrea (2003) mettait l'accent sur l'importance de choix et du contrôle des critères expérimentaux, ainsi que de l'observable (test) considéré. Dans cet ordre d'idée, les essais de réplication des expériences de Lai n'ont pas mis d'effet en évidence (*Cobb, 2004*), ni de modification des tests cognitifs (labyrinthes, apprentissages) pour peu que le niveau soit non thermique (ou proche des limites) et contrôlé (*Dubreuil et coll., 2003 ; Yamaguchi H et coll., 2003*).

Le groupe de Cassel a effectué une série d'expériences en utilisant le système d'exposition de Lai et, comme lui, un labyrinthe à 12 bras. Il n'a pas observé d'altérations de l'apprentissage (*Cassel et coll., 2004 ; Cosquer et coll., 2004*).

Très récemment, Lai a publié une nouvelle observation (2004) sur l'altération de l'apprentissage et de la mémorisation spatiale à court terme chez le rat exposé à 2,45 GHz CW (1,2 W/kg, 1 heure avant le test), laquelle est annihilée en présence d'un champ magnétique (bruit incohérent entre 30 et 90 Hz, 60 µT). En dépit d'une bonne exploitation statistique, l'absence de mention de méthode dosimétrique limite la portée de ces résultats. Au vu de toutes les expériences de Lai, fondées sur le même protocole (en dehors du bruit magnétique) et qui n'ont pu être répliquées, la validité de cette nouvelle investigation n'est pas avérée.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Cobb BI, Jauchem Jr, Adair Er, Bioelectromagnetics, 2004, 25(1) :49-57 <i>Radial arm maze performance of rats following repeated low level micro waves radiation exposure</i>	-source : 2,45 GHz, 45minutes/j, 10j Pulses 2µs, 500pps, -DAS 0,6 w/kg. -dosimétrie par mesures différentielles d'absorption sur carcasses dans les trois axes possibles d'orientation du rat.	Rats Sprague-Dawley - observation des performances dans le labyrinthe sur 10j, complétion et erreurs 8 rats par groupe Modulation par drogues associées :	Complétion plus longue avec le chlorure de naloxone et la physostigmines. Pas d'effet des micro-ondes, en particulier sur les effets secondaires des drogues (allant jusqu'à des doses

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
	Réplication H.Lai (1994)	physiostigmine, chlorure de naloxone, metoprolol de naloxone, ou sérum physiologique - statistiques : Analyse de variance (ANOVA, 3 méthodes) prenant en compte les différents facteurs (exposition, jour, drogue, intragroupe..)	létales de (physiostigmine)
Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H, Bioelectromagnetics, 2003, 24(4) :223-30 <i>1439 pulsed TDMA fields affect performances of rats in maze task only when body temperature is elevated</i>	-source : TDMA 1,439 GHz, carrousel; Trains d'impulsions à 50Hz, duty factor=1/3, impulsions de 6 ; 7 ms) - DAS cerveau (7,5 W/kg (DAS total = 1,7 W/kg) ou 25 W/kg (5,7 W/kg) 45 min/j 4j -dosimétrie : FDTD (fantômes) et mesure de température.	Rats Sprague-Dawley Labyrinthe en T avec choix + récompense Erreurs (apprentissage inverse) Mesure de T° intrapéritonéale Evaluation de l'apprentissage à court (4 j) et long (semaines) terme. - statistiques : analyse de variance (ANOVA) et Neuman's Keul (post-hoc, entre groupes)	Augmentation des erreurs seulement quand il y a élévation de T°(20 W/kg). Conclusions : dans les conditions d'exploitation (2 W/kg-10g tissus) aucun effet thermique ne peut être attendu
Dubreuil D, Jay T, Edeline Jm, Behav Brain, 2003, 145(1-2): 51-61. <i>Head only exposure to gsm 900 MHz emf does not alter rats memory in spatial and non spatial tasks.</i>	-source : GSM 900, 45 minutes, 1 à 3,5 w/kg DAS tête : 1 ou 3,5 W/kg -dosimétrie : mesure avec sonde vitek et calcul FDTD (fantômes)	Rats Sprague-Dawley -taches d'apprentissage spatiales et non spatiales ; -labyrinthe avec confinement entre chaque visite de branche ; -avec un délai 15 mn introduit dans le test après la visite de 4 bras ; - test de reconnaissance d'objets -statistiques : Analyse de variance (entre groupes, entre sujets) après vérification de normalité	Résultats discordants (différences exposé/ témoin à 3,5 W/kg, mais pas avec le groupe contrôle), infirmés par la deuxième expérience Un effet thermique n'est pas totalement exclu pour expliquer les réponses. Pas d'effet de l'exposition sur les performances
Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N (2004). Behav Brain Res. 155: 37-43. <i>Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats</i>	2,45 GHz pulsé (2 µs, 500 pps, 0,6 W/kg) exposition de 45 min/j avant le test Réplication H.Lai (1994)	Rats Sprague-Dawley Labyrinthe à 12 bras Test de mémoire spatiale de travail	Aucun effet
Cosquer B, Galani R, Kuster N, Cassel JC (2005) Behav Brain Res. 156:65-74. <i>Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter anxiety</i>	idem	Rats Sprague-Dawley Labyrinthe en croix surélevé Test d'anxiété	Aucun effet

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
<i>responses in rats: a plus-maze study including test validation.</i>			

5.3.2 Pathologies neuro-dégénératives

Il avait été recommandé par l'OMS de réaliser des expériences sur des modèles animaux de pathologies neuro-dégénératives. Or les modèles validés correspondants sont rares et seule une étude a été réalisée à ce jour. Le modèle d'encéphalomyélite allergique expérimentale (EAE) chez le rat (paralysie progressive associée à une altération de l'état général, réversible en 15 j) a été utilisé avec le signal GSM-900 (jusqu'à 6 W/kg, 2 h/j, 21 j) et aucun effet des RF n'a été observé (en dehors d'une diminution éventuelle du facteur stress) sur la crise d'EAE (*Anane et coll., 2003*).

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Anane R, Geffard M, Taxile M, Bodet D, Billaudel B, Dulou PE, Veyret B, Bioelectromagnetics, 2003, 24(3): 211-3. <i>Effects of GSM-900 microwaves on the experimental allergic encephalomyelitis (EAE) rat model of multiple sclerosis</i>	- GSM 900 (mod 217 Hz), antenne boucle sur la tête 21j, 2h/j - DAS local 1,5-6 W/kg -dosimétrie effectuée par mesure sur fantôme et calcul (FDTD)	Rates Lewis femelles , habitué au système EAE modèle reconnu de sclérose multiple EAE induite par mélange de protéine basique de la myéline et de Mycobacterium tuberculosis	Pas d'effet sur l'apparition, l'évolution et la fin de la crise. Chez les animaux non habitués à la contrainte, apparaît une réponse liée au stress qui semble diminuée pour une exposition de 1,5 W/kg. Cet effet stress n'est pas présent pour l'animal habitué (7j)

5.3.3 Peroxydation, radicaux libres

Dans la genèse des lésions élémentaires liées aux expositions, sont évoquées des actions sur la concentration d'espèces radicalaires oxygénées (ROS), et des modifications du statut oxydatif qui en résultent. Les études récemment publiées ne sont pas de qualité suffisante ni sur le choix des modèles et des méthodes ni sur le plan de la dosimétrie.

Seules des études effectuées à l'aide de méthodes physiques et biologiques modernes pourront permettre de savoir si des altérations de la concentration de ROS sont causées par des expositions RF à faible niveau. De telles expériences sont couramment pratiquées dans la gamme des ELF.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal – Méthode	Résultats
Aweda MA, Gbenebitse S, Niger Postgrad Med J, 2003, 10(4) :243-6. <i>Effects of 2.45 GHz microwaves exposure on the peroxidation status in wistar rats</i>	- source : 2,45 GHz, CW, durée : 1h 8 semaines de suivi - DAS : densité de puissance 6 mW/cm ² Dosimétrie ?	Rats Wistar Statut peroxydation lipidique (méthode TBA)	Augmentation de la peroxydation lipidique Effet protecteur des vitamines C et E

5.3.4 Cancers et génotoxicité *in vivo*

Les études de cancérogenèse portent soit sur un effet direct, soit sur un rôle promoteur des RF en présence d'autres carcinogènes identifiés.

L'étude de l'action des RF seules a fait l'objet de trois publications. La première étude, menée par *La Regina et coll. (2003)* a utilisé des rats normaux exposés de façon chronique à deux signaux américains de radiotéléphonie (835 MHz TDMA ou 832 MHz CDMA). Aucun effet en termes de poids des animaux et d'incidence des tumeurs n'est détecté. Ce résultat a d'autant plus de valeur que le protocole et la dosimétrie sont bien détaillés. La seconde étude est celle de *Sommer et coll. (2004)* réalisée sur des souris prédisposées génétiquement à développer des lymphomes. L'exposition des animaux pendant 5,5 mois, corps-entier au GSM-900 a montré un effet minime sur la prise de poids mais aucun effet sur le développement des lymphomes. Un troisième groupe s'est intéressé au signal iridium à 1,8 GHz. Bien que ce signal soit abandonné, l'étude est intéressante à plusieurs titres : elle utilise une fréquence supérieure aux fréquences étudiées jusqu'à présent (800-900 MHz) et elle inclut des expositions *in utero*. Des rats ont en effet été exposés en champ lointain du 19^e jour de gestation au sevrage puis dans un second temps, mâles et femelles issus des portées ont été exposés tête-seule (0,16 et 1,6 W/kg) de l'âge de 36 jours à l'âge de 2 ans. La survie dans les portées, l'évaluation histopathologique du cerveau et des tissus principaux et le suivi du poids n'ont révélé aucune différence entre exposés et contrôles. Seul un temps de survie plus long a été observé pour les femelles exposées.

Deux études sont également disponibles sur l'effet promoteur des RF sur des modèles de cancer induit. *Heikkinen et coll. (2003)* n'avaient montré aucun effet significatif sur la promotion tumorale chez des souris après une exposition simultanée à un signal GSM de DAS de 0,35 W/kg RF et aux rayons X²¹. Dans leur étude récente, ils ont évalué l'effet d'une exposition simultanée aux UV et aux RF (GSM-900, DAS de 0,5 W/kg) sur des populations de souris normales ou transgéniques pour une enzyme surexprimée dans le cancer de la peau appelée Ornithine Décarboxylase (ODC). Aucune différence n'est mise en évidence pour la fréquence des tumeurs cutanées ; cependant, les auteurs notent une accélération non significative de la croissance tumorale des souris non transgéniques, et d'après eux, l'étude mérite d'être répliquée. L'article de *Anane et coll.* portait sur la promotion de tumeurs mammaires induites par le DMBA (carcinogène chimique connu) chez des rates soumises de façon semi-chronique au GSM-900 (corps-entier). La latence, la multiplicité et le volume tumoraux n'apparaissent pas modifiés pour des DAS inférieurs à 1,4 W/kg. Pour des DAS supérieurs à 1,4 W/kg, une augmentation de l'incidence des tumeurs malignes est observée. Cependant, les résultats contradictoires pour le DAS de 1,4 W/kg, qui était commun aux deux séries d'expérimentations réalisées, rendent toute conclusion difficile. L'importance potentielle de ces résultats présentés en congrès avant leur publication a motivé la mise en place de deux études de confirmation en Chine (étude financée par le MMF) et en Autriche (étude Perform A financée par l'Union Européenne). Les résultats de ces deux études seront connus dans les prochains mois.

L'étude d'exposition à des DAS supérieurs au niveau des expositions environnementales ou autorisées, apparaît indispensable pour pouvoir éventuellement détecter un effet critique (au sens de l'ICNIRP) autre que celui observé sur le comportement des animaux, documenté à partir de 4 W/kg corps entier.

Deux études ont étudié l'effet génotoxique *in vivo* des RF à 2450 MHz. La première a utilisé un modèle de souris transgéniques gravides ; elle a évalué, chez les souris issues des portées, le nombre

²¹ Heikkinen, P., V.-M. Kosma, et coll. (2001). "Effects of Mobile Phone Radiation on X-Ray-Induced Tumorigenesis in Mice." *Radiat Res* 156: 775-785.

et la nature des mutations sur le gène lacZ dans différents organes, y compris le cerveau, après une exposition intermittente à des RF à 0,7 et 1,4 W /kg corps entier (*Ono et coll, 2004*). La seconde est une réplique du travail de Lai et Singh de 1995²² et a évalué les dommages de l'ADN (test des comètes) dans les cellules du cerveau de rats exposés en aigu à 1,2 W/kg corps entier. Aucun effet mutagène ou génotoxique n'a été révélé par ces études. En particulier, les travaux précédents de Lai et Singh ne sont pas confirmés. On peut rappeler que ces mêmes travaux avaient fait l'objet d'une réplique négative par *Malyapa et coll. (1998)*²³.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Anane R, Dulou PE, Taxile M, Geffard M, Crespeau FL, Veyret B, Radiat Res, 2003, 160(4) :492-7. <i>Effects of GSM900 micro waves on DMBA induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats.</i>	- Exposition aux RF, 2h/j-5j/9sem 10 j après DMBA (10mg /kg). - Source : GSM 900, antenne de station de base placée à 1m80 au-dessus des rats. -DAS : 2 groupes d'expériences 16 animaux par groupe Série 1 : sham, 1,4-3,5-2,2 W/kg Série 1 : sham, 0,1-0,7-1,4 W/kg - Dosimétrie en conditions de champ lointain ; utilisation de fantômes ; détermination multifocale de DAS locaux et de DAS corps entier.	Rates Sprague-Dawley Sacrifice 21 jours après la fin d'exposition Pesée, observation régulière des tumeurs Etude histo-pathologique des tumeurs mammaires réalisée en aveugle	Pas d'effet sur la latence, le nombre et le volume tumoral jusqu'à 1,4 W/kg où l'on observe des résultats opposés entre les deux séries d'expérimentation. Au-dessus de 1,4 W/kg corps entier, l'incidence tumorale est augmentée sans relation dose-effet.
Anderson LE, Sheen DM, Wilson BW, Grumbein SL, Creim JA, Sasser LB. Radiat Res., 2004, 162:201-10 <i>Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1.6 GHz radiofrequency signal.</i>	- Source : Iridium 1,6 GHz 160 rates gravides <u>Exposition des foetus puis des jeunes portées en champ lointain</u> DAS dans le cerveau: sham, 0,16 W/kg: début à 19 j de gestation et jusqu'à l'âge de 23 j (sevrage).2 h/j, 7 j/semaine Séparation des portées en 2 groupes de 90 mâles et 90 femelles <u>Exposition champ proche:</u> DAS: sham, 0,16 ou 1,6 W/kg 2 h/j, 5 j/semaine du 36 ^e jour à l'âge de 2 ans Contrôle cage (80 mâles, 80 femelles) -Statistiques: analyse de variance sur les paramètres continus, méthode de Kaplan - Meier sur les données de survie.	Rates Fisher gravides et leurs portées Nombre d'animaux vivants dans les portées Suivi du poids Nécropsie complète pour tous les animaux (mort spontanée, état moribond ou à la fin de l'expérimentation) Prélèvement de tous les tissus et tumeurs pour évaluation histologique et histopathologique en aveugle.	Pas de différence significative entre les groupes pour le nombre d'animaux vivants dans les portées, l'index de survie, et le poids, pas plus que pour les différents signes cliniques ou les lésions cancéreuses. Chez les mâles, aucune différence pour la survie en fin d'exposition. Chez les femelles, diminution significative du temps de survie chez les contrôles.

²² Lai, H. and P. Singh N (1995). "Acute Low-Intensity Microwave Exposure Increases DNA Single-Strand Breaks in Rat Brain Cells." *Bioelectromagnetics* 16(3): 207-210.

²³ Malyapa, R. S., E. W. Ahern, et coll. (1998). "DNA Damage In Rat Brain Cells After In Vivo Exposure To 2450 MHz Electromagnetic Radiation And Various Methods Of Euthanasia." *Radiat Res* 149: 637-645.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
<p>Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Laitinen JT, Lang S, Puranen L, Juutilainen J, Int. J. Radiat. Biol, 2003, 79(4): 221-33.</p> <p><i>Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumorigenesis in ODC transgenic and non-transgenic mice</i></p>	<p>Source : DAMPS (digital advanced mobile phone system) GSM 900 1,5 h/j, 5 j/semaine, 52 semaines</p> <p>DAS : 0,5 W/kg, + UV : 240 J/m², 3 fois/semaine</p>	<p>Souris K2 transgéniques ODC (surexpression du gène de l'Ornithine Décarboxylase) et souris normales</p> <p>Témoins : 20 souris autres groupes : 45-49 souris</p> <p>Palpation + histopathologie sur lésions</p> <p>Dosage du 6OH-mélatonine sulfat (métabolite de la mélatonine)</p> <p>Dosage des polyamines cutanées</p>	<p>Pas d'effet sur le développement tumoral: pas d'effet sur l'excrétion de 6OH-mélatonine sulfat, ni sur le niveau de polyamines cutanées.</p>
<p>La Regina M, Moros EG, Pickard WF, Straube WL, Baty J, Roti Roti JL, Radiat Res, 2003, 160(2) :143-51</p> <p><i>The effect of chronic exposure to 835.62 MHz TDMA or 847.74 CDMA RF radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats</i></p>	<p>835,62 MHz TDMA 842,74 MHz CDMA 4 h/j, 5 j/sem, 2 ans.</p> <p>DAS moyen dans le cerveau : 1,3 W/kg, contrôlé dans différentes zones et corrigé des mouvements</p> <p>- Dosimétrie établie par mesures thermographiques et thermométriques</p> <p>-Statistiques : nombre et incidence (Fisher), poids (analyses de variance) survie (kaplan-Meier et Cox), relation traitement/ 1tumeur (Pearson), traitement/nombre de tumeurs (Kruskall-Wallis)</p>	<p>Rats Fischer 344.</p> <p>40 mâles /40 femelles</p> <p>Evaluation globale (poids) et histologique des organes principaux (cerveau, moelle épinière, glande surrénale, oesophage, cœur, estomac, intestins, reins, foie, poumons, nodules lymphatiques, cavité nasale, organes reproducteurs, pancréas, glande salivaire, rate, thymus, thyroïde, trachée et vessie). En cas d'anomalie dans d'autres organes, des prélèvements étaient réalisés pour une évaluation histopathologique.</p> <p>Protocole très précisément détaillé</p>	<p>Aucune incidence sur le poids, et sur l'incidence tumorale chez les animaux exposés comparés aux contrôles.</p>
<p>Sommer AJ, Streckert J, Bitz AK, Hansen VW, Lerchl A. BMC Cancer, 2004, 4 :77-89</p> <p><i>No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice</i></p>	<p>-Source : GSM 900 MHz, guide d'onde radial, animaux non restreints</p> <p>DAS : 0,4W/kg corps entier ± 40%</p> <p>- Exposition : 24 h/j, 7j/sem, début à 6 mois jusqu'à 11,5 mois</p> <p>- Dosimétrie: calcul numérique sur 5 configurations de position</p>	<p>Souris transgéniques AKR/J'</p> <p>- pesée des animaux et palpation des tumeurs hebdomadaires</p> <p>- prélèvements sanguins mensuels (à partir de 6 mois) pour formule sanguine</p> <p>Au sacrifice (CO₂):</p>	<p>- Pas de différence significative dans le taux de survie</p> <p>- Pas de différence significative dans l'incidence des lymphomes</p> <p>- Pas de différence significative dans la formule sanguine</p> <p>- Augmentation du poids des animaux sous RF</p>

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
	<p>- Tests statistiques : Analyse de régression multiple et test t de Student non apparié (perte de poids), Kaplan et Meier (survie), Anova 2 voies (formule sanguine)</p>	<p>nécropsie, fixation et histologie des tissus (rate, thymus, nodules lymphatiques, foie, reins, poumons, cerveau).</p>	
<p>Lagroye I, Anane R, Wettring BA, Moros EG, Straube WL, Laregina, Niehoff M, Pickard WF, Baty J, Roti Roti JL, <i>Int J Radiat Biol</i>, 2004, 80(1) :11-20</p> <p><i>Measurements of DNA damage after acute exposure to pulsed waves 2450 MHz in rat brain cells by two alkaline comet assay methods</i></p>	<p>- Source : 2450 MHz. DAS : 1,2 W/kg corps entier</p> <p>- Exposition : 2 h, sacrifice 4 h après l'exposition</p> <p>Contrôle positif 1Gy de ¹³⁷Cs, (gamma).</p> <p>- Dosimétrie : calcul, et mesures de température</p> <p>Réplication de Lai et Singh, 1995</p>	<p>Rats mâles Sprague-Dawley</p> <p>- Observation des dommages de l'ADN sur suspension de cellules de cerveau : test des comètes</p> <p>- Deux variantes (± Protéinase K) de la méthode des comètes en milieu alcalin pour vérifier la présence ou non de liaisons ADN-protéines.</p>	<p>- Pas de modification de longueur des comètes, ni des moments des comètes normalisés.</p> <p>- Pas de lésions (détectable par comète alcaline) imputable à l'exposition aux RF</p>
<p>Ono T, Saito Y, Komura J, Ikehata H, Tarusawa Y, Nojima T, Goukon K, Ohba Y, Wang J, Fujiwara O, Sato R. <i>Tohoku J Expl Med</i>, 2004, 92(19) :93-103</p> <p><i>Absence of mutagenic effects of 2.45GHz RF exposure in spleen, liver, brain and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero</i></p>	<p>Source : 2450 MHz intermittents</p> <p>- exposition 16h/jour, de 0 (conception) à 15j in utero, examen 10 semaines après la naissance</p> <p>- DAS : 0,71 W/kg corps entier :10 sec on /50 sec off ou 1,4W/kg corps entier : 20 sec on /40 sec off (pour éviter les effets thermiques),</p> <p>- Dosimétrie : mesure + FDTD (4,3 W/kg en continu) température rectale contrôlée ($\Delta T \leq 0,43^\circ\text{C}$)</p>	<p>Souris transgéniques lac-Z gravides exposées in utero</p> <p>- Observation de mutations sur le gène lacZ dans la rate, le foie, les testicules, le cerveau</p> <p>- Séquençage des nucléotides sur mutants (PRISM377) et comparaison au type sauvage</p>	<p>- Pas de différence avec le groupe témoin non irradié, ni quantitativement, ni qualitativement (nature des mutations)</p>

5.3.5 Reproduction-développement

En dehors des effets thermiques identifiés, les études précédentes ne mettaient pas en évidence d'effets post-natals liés à l'exposition pré ou périnatale d'animaux aux GSM (rapport 2003). L'investigation proposée par *Dasdag et coll. (2003)* porte sur l'exploration *in vitro* des conséquences fonctionnelles, histologiques et morphologiques de testicules de rats en exposition totale à faible niveau (0,52 W/kg sur 1 g). Aucun effet n'a pu être mis en évidence. Similairement, dans des conditions de dosimétrie contrôlée (température, FDTD) l'équipe de *Ono (2004)* n'a pu mettre en évidence de conséquences importantes (délétions, recombinants) sur les mutations chez la souris mutante Lac-Z exposée durant la gestation (jusqu'à 0,71 W/kg). Parallèlement, *Nakamura et coll. (2003)* n'observe de perturbation de la circulation placentaire, des fonctions immunitaires et des sécrétions hormonales (oestradiol, progestérone) que pour des niveaux thermiques. De plus, à ces niveaux, les modifications des paramètres ne diffèrent pas de celles obtenues par élévation thermique pure (immersion dans l'eau à température contrôlée).

Au contraire, l'étude menée par *Pyrapasopoulou et coll. (2004)* relève des modifications de l'expression de protéines rénales (BMP-1 et -2) chez le rat nouveau-né irradié durant la gestation ; cependant il s'agit d'un niveau de DAS extrêmement faible (5×10^{-4} W/kg). De plus, le fait d'avoir choisi une fréquence plus élevée (9,4 GHz) pour tenir compte du facteur taille de l'animal ne prend pas en compte les différences de propriétés diélectriques des tissus qui dépendent de la fréquence. L'interprétation de ces données est donc extrêmement difficile.

En somme, la majorité des effets n'apparaît que pour des niveaux thermiques. Pourtant l'existence d'effets à faible niveau ne peut être exclue, et bénéficierait de réplifications et du passage à des animaux de plus grande taille (à des fréquences différentes) pour évaluer le facteur en vue d'une éventuelle transposition à l'homme.

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Dasdag S, Zulkuf AM, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Mutlu S, Dasdag M, Salih CM, Bioelectromagnetics, 2003, 24(3):182-8 <i>Whole body exposure of rats to micro waves emitted from a cellular phone does not affect the testis</i>	- Source : mobile à 0,5 cm sous la cage de rats 20 min/j 1 mois - DAS total 0,52 W/kg (sur 1g), 3,13 W/kg en crête - Dosimétrie : Calcul par FDTD sur modèle ellipsoïde. Contrôle de l'hétérogénéité de la puissance émise par « cell sensor »	Rats-testicules Composition lipidique, MDA P53 (immunohistochimie), spermogramme, morphologie/histologie Température rectale - Statistique Randomisation 8 T/8 exposés Test U-Mann Whitney	Pas de différence significative
Nakamura H, Matsuzaki I, Hatta K, Nobukuni Y, Kambayashi Y, Reprod toxicol, 2003, 17(3):321-6 <i>Non thermal effects of mobile phone frequency micro waves on uteroplacental functions in pregnant rats</i>	-Source : 915 MHz (magnétron, 90 minutes d'exposition), Les rates sont placées dans des tubes en plexiglas orientés parallèlement à l'antenne Les rates sont réparties aléatoirement en 6 groupes de 6: -exposition à 0.6 mW/cm ² (DAS estimé à 0.4W/kg corps entier) - exposition à 3 mW/cm ² (DAS estimé à 2W/kg corps entier) - rats immergés dans de l'eau à 38°C (température correspondant à l'élévation résultant de l'exposition à 0.6mW/cm ²) -rats immergés dans de l'eau à 40°C (température correspondant à l'élévation résultant de l'exposition à 3 mW/cm ²) - rats immergés dans de l'eau à 34°C (conditions de neutralité thermique) - rats témoins La mesure de température est effectuée par thermistor intra rectal. - Dosimétrie par calorimétrie	RATES gravides - Mesure de circulation placentaire et utérine - fonction immunitaire (cellules NK spléniques) - Hormones (œstradiol et progestérone)	Différences entre groupes 34° et 38°, d'origine thermique Pas de différence entre 6W/m ² et 38°C Diminution significative de l'œstradiol et du flux sanguin utero-placentaire entre 40° et 30 W/m ² Diminution de l'activité NK à 0,6 mW/cm ² (considérée comme une réponse adaptative normale), non retrouvée à 3 mW/cm ² (non expliquée) Conclusion : pas d'effet non thermique au niveau des normes ANSI (0,6 mW/cm ² ou 4 W/kg corps entier)
Pyrapasopoulou, A, Kotoula V, Cheva A, Hytiroglou P, Nikolakaki E, Magras I, Xenos TD, Tsiboukis TD, Karkavelas	- Source : Exposition à 9,4 GHz (considérée comme GSM-like chez un rat pour tenir compte du facteur taille: 900 MHz-homme : ?)	Rate Wistar Méthodes : immunohistochimie, RT-PCR et hybridations in situ	Modifications dans l'expression de BMP-4 et son récepteur BMPR-11 –II, lorsque l'exposition a lieu en

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
G, Bioelectromagnetics, 2004, 25 :216-227 <i>Bone morphogenetic protein expression in new born rat kidneys after prenatal exposure to RFR</i>	- DAS max 0,5 mW/kg. Pulses 20 µs, RR=50 Hz Montage par deux sources pour contrôler les ondes stationnaires Dosimétrie : analyseur de spectre FDTD	- Statistiques : tests non paramétriques (Mann-Whitney, Kolmogorov Smirnov) ; t-indépendants et tests semi quantitatifs (Pearson –ki2 et V-Cramer)	début de gestation. En l'absence de conséquences ultérieures (fonctionnelles), il pourrait ne s'agir que d'un retard de développement rénal.

5.3.6 Expression des protéines de choc thermique (HSP)

Aucun élément nouveau n'est venu compléter les rares études sur les protéines de choc thermique in vivo. Lors de plusieurs réunions scientifiques, De Pomerai a confirmé qu'il était incapable de répliquer ses observations de l'augmentation de l'expression hsp16 chez le nématode, après avoir corrigé son système d'exposition. Il n'y a donc aujourd'hui aucune preuve d'une augmentation des HSP chez l'animal sous l'effet d'ondes RF à faible niveau (voir ci-dessous les résultats obtenus in vitro). Le travail de *Weisbrot et coll, (2003)* cité dans la table ci-dessous étant de mauvaise qualité, surtout au niveau du système d'exposition.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Weisbrot D, Lin H, Ye L, Blank M, Goodman R, J.Cell Biochem, 2003, 89(1) :48-55 <i>Effects of mobile phone radiation on reproduction and development of drosophila melanogaster</i>	- Source : téléphone GSM 1900 MHz, antenne placée le long et à l'extérieur des tubes d'élevage, perpendiculairement à leur axe Test du téléphone seul ou associé au système Tecno AO MP12 bloquant l'émission de RF - Exposition 2X60 min/j, 10 j entre le stade d'œuf et celui de nymphe DAS : 1,4 W/kg donné par le constructeur (DAS mesuré dans un fantôme de tête humaine) - Dosimétrie : Champ électrique mesuré par analyseur de spectres en HF et ELF	Drosophiles (drosophila melanogaster) - expression du gène hsp70 - activité de liaison à l'élément de réponse au sérum (SRE) - phosphorylation de ELK-1 (facteur de transcription nucléaire)	Augmentation de tous les paramètres étudiés et augmentation du nombre de larves dans les groupes exposés avec le téléphone seul; Effet non thermique Disparition, selon les auteurs, des effets avec le système bloquant l'émission des RF, dont l'inefficacité est aujourd'hui reconnue !

5.3.7 Yeux

L'apparition de lésions oculaires, ulcérations ou cataractes, mentionnées au décours d'accidents a servi de base à la recommandation d'examens médicaux après surexposition. La revue de Elder (2003), qui porte sur un grand nombre de modèles, depuis le rat et le lapin jusqu'au primate et l'homme, montre que l'existence d'effets immédiats et à long terme est liée à une élévation de température locale due à un niveau d'exposition élevé (2,45 GHz, 150 W/kg chez le lapin par exemple). Les études humaines récentes ne retiennent pas non plus de liaison entre exposition et cataracte ou cancer.

Dans ce cadre, l'étude de Kojima (2004), opérant sur lapin, anesthésié ou non, à des niveaux élevés (1 h, 2,45 GHz, jusqu'à 75 W/kg à la sclère) est d'un apport limité, puisqu'on y retrouve les effets thermiques connus, eux-même aggravés par la diminution de perfusion periaqueuse et perivitrée liée à l'anesthésie.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Kojima MI, Hata I , Wake K, Watanabe SI, Yamanaka Y, Kamimura Y, Taki M, Sasaki K, Bioelectromagnetics, 2004, 25(3) :228-33. <i>Influence of anaesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves</i>	- Source : 2,45 GHz 20-60 mn, 300 mW/m ² - DAS œil entier 108 W/kg DAS local : varie en fonction de la zone considérée (de 75 W/kg à la sclère jusqu'à 141 W/kg dans la chambre antérieure) - Dosimétrie : par FDTD	Lapin Exposition unilatérale Avec ou sans anesthésie (Kétamine/xylazine) Bilan du segment antérieur, de la cornée et du cristallin	Myosis inflammation conjonctivale, diffraction de la lumière du cortex antérieur, réversibles en 1 semaine Plus marqué sur œil anesthésié, relié à une augmentation de température plus importante Effets thermiques

5.3.8 Audition

Kizilay et coll. (2003) comme avant lui *Marino et coll. (voir rapport 2003)* se sont intéressés aux émissions oto-acoustiques (activité ciliaire de l'organe de Corti) de rats exposés à un signal GSM-900 (30 jours, 1 heure par jour). Les résultats, négatifs eux aussi, sont de validité limitée du fait du faible effectif étudié, de l'absence de dosimétrie et de la comparaison de groupes non homogènes (nouveaux-nés exposés avec témoins adultes).

Aran et coll. (2004) ont étudié les effets chez le cobaye d'expositions semi-chroniques localisées (une oreille, antenne boucle, GSM-900, DAS de 1, 2 et 4 W/kg, 1 heure par jour, 5 jours par semaine pendant 2 mois). La fonction de chaque oreille était évaluée soit par les otoémissions acoustiques, soit par les potentiels évoqués auditifs du tronc cérébral. Malgré les petits nombres d'animaux dans chaque groupe, l'abondance des mesures a permis d'effectuer une étude statistique de qualité. Aucune différence entre oreilles exposées et oreilles témoins n'a été observée. Une étude préliminaire n'a pas non plus montré d'effets d'une exposition (900 MHz, 1 W/kg, pendant 24 heures, système d'exposition décrite dans *Laval et coll, 2000²⁴*) sur le développement *in vitro* d'organes de Corti de rats nouveau-nés.

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, Kalcioglu MT, Miman MC, Auris nasus larynx , 2003, 30(3) : 239-45. <i>Effects of chronic exposure of EMF from mobile phones on hearing in rats</i>	- Source : GSM 900, 1h/j, 30j Appareil placé au milieu de tubes contenant les rats, radialement disposés museau vers le mobile - DAS retenu d'après des informations "constructeur" , à 0.95W/kg, non calculé ou mesuré.	Rats Adultes (7 exposés et 7 témoins ou nouveau-nés(4) Mesure des oto-émissions acoustiques (fonction des cellules sensorielles de l'oreille interne)	Pas d'effets sur l'oreille externe, moyenne et la cochlée de l'exposition chronique Les nouveaux nés sont comparés au groupe témoin adulte (?)
Aran, J.-M.; Carrere, N.; Chalan, Y.; Dulou, P-E. Larrieu S. ; Letenneur, L.; Veyret, B., Dulon, D. International Journal of Audiology. 2004, 43(9) :245-254.	Source : GSM 900 MHz In vivo: Antenne boucle, Dosimétrie par mesure locale de température, Exposition une oreille 1h/j,	In vivo : Cobayes éveillés. Mesure des produits de distorsion acoustiques et des seuils des PEA du tronc cérébral. Analyse statistique. In vitro : organes de corti	pas d'effet

²⁴ Laval, L., Leveque, P. & Jecko, B. 2000. A new in vitro exposure device for the mobile frequency of 900 MHz. Bioelectromagnetics, 21(4), 255–263.

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
<i>Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: in vivo and in vitro experimental studies</i>	5j/s, 2 mois. In vitro : antenne fil-plaque, dosimétrie réalisée par sonde Vitek Exposition 1W/kg, 24 heures	de rats nouveau-nés. Evaluation (non quantitative) des populations de cellules ciliées.	

5.3.9 Immunité

Black et Heynick ont publié en 2003 une revue exhaustive qui traite en détail des effets sur l'immunité. Depuis les résultats négatifs obtenus par *Gatta et coll.* en 2003 et ceux de *Nakamura* (cf. § 5.3.5.1), aucune nouvelle étude pertinente, relative aux effets sur le système immunitaire n'a été publiée.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Galloni P, Lovisoli GA, Marino C, Pioli C, Radiation research, 2003, 160(5) :600-605 <i>Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900MHz Radiation on mouse peripheral blood</i>	GSM 900 MHz, 2h/j-1-2-4semaines cellules GTEM, DAS : 1-2 W/kg Dosimétrie : établie par mesure et calcul, en utilisant des fantômes et des souris. Prise en compte des pertes à chaque étage, jusqu'à une évaluation de la précision du DAS évaluée à 20% d'erreur près.	Souris C57BL-6 Cellules spléniques Populations B-T (CD4-CD8) + stimulation in vitro (LPS, anticorps monoclonaux (activation, production de cytokines et marqueurs d'expression))	Rien sur les populations Augmentation de l'interféron gamma à 1 semaine, non retrouvée par la suite : adaptation non spécifique au stress : Conclusion : un effet de l'exposition au GSM sur le système immunitaire est peu probable

5.3.10 Conclusions sur les études animales

Depuis le rapport précédent, aucune publication n'a rapporté d'effets néfastes chez l'animal.

Les effets observés se produisent à des niveaux thermiques. Les études montrant des résultats à faible niveau sont quant à elles fréquemment grévées par le manque d'information dosimétrique ou par des biais liés au protocole, et certaines mériteraient d'être répliquées.

Cependant, un certain nombre de résultats obtenus à faible niveau continue de poser question :

- La perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique chez le rat exposé aux signaux de la téléphonie mobile est un phénomène qui n'a pas été mis en évidence dans des études récentes, mais au vu de l'importance potentielle de ce phénomène en termes de santé publique, il faudra attendre de connaître les résultats des études en cours et en réaliser au besoin de nouvelles pour espérer conclure.

- En ce qui concerne les cancers, les études de copromotion tumorale en présence de carcinogènes identifiés (rayonnements X ou UV, et DMBA) ne mettent pas en évidence d'effet de l'exposition sur le développement tumoral. Cependant, dans le cas du DMBA, il faudra pour conclure attendre les résultats des études en cours.

5.4 Etudes cellulaires

5.4.1 Génotoxicité

Trois études ont évalué le potentiel génotoxique des RF de faible niveau sur des modèles cellulaires divers que sont les cellules mononucléées du sang périphérique humain (*Zeni et coll, 2004*), les cellules humaines de lymphoblastome Molt4 (*Hook et coll, 2004*) et les cellules fibroblastiques immortalisées de souris C3H 10T1/2 (*Lagroye et coll, 2004*). Les tests utilisés sont le test des comètes et le test des micronoyaux. Ces études convergent fortement vers l'absence d'effets des RF entre 813 et 2450 MHz sur les dommages de l'ADN. A l'instar des autres études de confirmation publiées récemment, les résultats de *Phillips et coll. (1998)*²⁵ ne sont pas retrouvés par *Hook et coll.* De plus, l'étude de *Lagroye et coll. (2004)* montre l'absence de liaisons ADN-protéines après exposition aux RF. Ainsi, cet argument évoqué pour expliquer la différence entre les résultats de *Lai et Singh (1995)* et ceux de *Malyapa et coll. (1998)*²⁶ pour l'observation des dommages de l'ADN ne peut pas être retenu (voir chapitre 3).

Si l'intermittence du signal n'apparaît pas comme un paramètre critique pour l'observation de dommages à l'ADN pour *Zeni et coll. (2004)*, il faut rappeler qu'une étude antérieure avait au contraire suggéré la possibilité d'effets biologiques liés à la modulation (*d'Ambrosio et coll.*)²⁷. Globalement, peu d'études encore ont été réalisées avec des signaux intermittents, mais la multitude de combinaisons ON/OFF possibles rend difficile la perspective d'une étude systématique.

Dans une revue consacrée à ce sujet, *Meltz (2003)* conclut que les RF de faible intensité ne sont pas génotoxiques. Il rappelle en outre l'intérêt, dans toute publication, de donner la description de l'appareillage, la dosimétrie, le DAS, le type d'émission, la température, et d'utiliser des expériences et protocoles reconnus et détaillés, d'indiquer le nombre de répétitions et les contrôles utilisés, de même que les tests statistiques utilisés.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
Hook GJ, Zhang P, Lagroye I, Li L, Higashikubo R, Moros EG, Stra WL, Pickard WF, Baty JD, Roti Roti JL, Radiation Res, 2004, 161(2):193-200 <i>Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to RF radiation.</i>	Sources : 847,74 CDMA, DAS: 3,2 W/kg 835,62 FDMA, DAS: 3,2 W/kg 813,56 iDEN®, DAS: 2,4 ou 24 mW/kg 836,55 TDMA, DAS 2,6 ou 26 mW/kg - Cellule RTL - Exposition : 24 h lors de la croissance exponentielle - T° contrôlée 37±0,3°C - Dosimétrie : calibration des DAS, de la température et contrôle périodique par thermocouples. -Statistiques : analyse de variance Réplication de Phillips et al, 1998	Cellules humaines Molt-4 - Dommages de l'ADN détectés par électrophorèse sur cellules isolées (test des comètes en conditions alcalines) - Apoptose: test annexine V	Pas de différence significative Réplication négative

²⁵ J.L. Phillips, O. Ivaschuk, T. Ishida-Jones, R.A. Jones, M. Campbell-Beachler, W. Haggren. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 45 :103-110 (1998).

²⁶ Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, LaRegina M, Pickard WF, Roti Roti JL. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat Res.* 1998 Jun;149(6):637-45

²⁷ d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics*. 2002 Jan;23(1):7-13.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle animal - Méthode	Résultats
<p>Lagroye I, Hook GJ, Wettring BA, Baty JD, Moros EG, Straube WL, Roti Roti JL, Radiat Res, 2004, 161(2) :201-14.</p> <p><i>Measurement of alkali labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450 MHz microwaves and low dose gamma irradiation in vitro</i></p>	<p>- Source : 2450 MHz CW, Cellule RTL DAS : 1,9W/kg</p> <p>- Exposition 2 h ± CDDP (cisplatine) ou irradiation gamma 137Cs (4Gy)</p> <p>- Dosimétrie : mesure rapide de température différentielle et FDTD</p> <p>- Statistiques : U Mann-Whitney et analyse de variance</p>	<p>Cellules de souris C3H-10T(1/2) (fibroblastes)</p> <p>- Recherche de lésions type liaison ADN-ADN ou ADN-protéines, lésions de l'ADN</p> <p>- Test de comètes</p> <p>- Test d'incorporation ³⁵S</p>	<p>Pas d'effet des RF sur les lésions de l'ADN, sur les liaisons ADN-ADN ou ADN-protéines</p> <p><i>Cette étude montre que l'absence de protéinase K dans le test des comètes ne peut pas expliquer la différence entre les résultats de Lai et Singh (1995) et ceux de Malyapa et coll (1998, voir chapitre 3).</i></p>
<p>Zeni, O, Chiavoni AS, Sannino A, Antonili A, Forigo D, Bersani F, Scarfi MR, Radiation Research, 2004, 160-2) :152-158</p> <p><i>Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro at 900 MHz EMF</i></p>	<p>- Source : 900 MHz, CW ou GSM cellule TEM calibrée DAS : 0,2 et 1,6 W/kg</p> <p>- Exposition</p> <p>* CW et GSM, 1,6 W/kg = 44 h intermittence (6 min ON/ 3 h OFF, 14 cycles), cellules stimulées par PHA</p> <p>* GSM, 1,6 W/kg=24 h intermittence (6 min ON/ 3 h OFF, 14 cycles), cellules non-stimulées par PHA</p> <p>* GSM, 0,2 W/kg=1h/jour, 3 jours, cellules stimulées par PHA</p> <p>- Dosimétrie : calculs par FDTD</p> <p>- ΔT mesuré de 0,5 °C maximum, mais pas de réel contrôle de température</p> <p>- Statistiques : test de Student apparié, test de Wilcoxon</p>	<p>Lymphocytes de sang périphérique de donneurs volontaires</p> <p>- 4 à 7 donneurs par condition d'exposition</p> <p>- Test des micronoyaux (cellules binucléées) et de cytotoxicité (index de prolifération)</p>	<p>Pas de différence significative pour l'induction de micronoyaux ou l'index de prolifération.</p>

5.4.2 Apoptose, gènes et protéines

Les premières études sur les effets d'une exposition RF de faible DAS sur le processus apoptotique ont été publiées. L'apoptose ou mort cellulaire programmée est reconnue comme un phénomène biologique d'une importance fondamentale pour l'intégrité des organismes vivants. En effet, l'homéostasie²⁸ peut être considérée comme le résultat d'un équilibre entre la prolifération et l'apoptose cellulaires. L'apoptose est également largement impliquée en physiopathologie. À titre d'exemple, un défaut d'apoptose contribue à la cancérisation des cellules, tandis qu'un excès d'apoptose dans les neurones est impliqué dans le développement de maladies neurodégénératives. Deux types d'approches peuvent être utilisées pour l'étude de l'apoptose : (i) l'étude de l'expression des gènes/protéines impliqués dans la régulation et l'exécution du programme d'apoptose et (ii) l'étude de l'apoptose au niveau de la physiologie cellulaire, au moyen de marqueurs tels que la chute du potentiel transmembranaire mitochondrial, la fuite de cytochrome c, l'activation de la caspase 3, l'externalisation des phosphatidylsérines de la membrane plasmique, les modifications structurales de l'ADN, etc. Un grand

²⁸ Homéostasie = tendance des organismes vivants à maintenir constants leurs paramètres biologiques face aux modifications du milieu extérieur.

nombre de marqueurs d'apoptose - plus ou moins spécifiques cependant- est donc disponible pour les biologistes, et il est généralement admis d'utiliser au moins deux d'entre eux pour écarter d'éventuels « faux-positifs ».

Markkanen et coll. (2004) ont utilisé des levures normales et des levures modifiées dans leur génôme pour ne plus exprimer un gène impliqué dans le cycle cellulaire. Ces dernières entrent en apoptose très facilement, sous l'effet de la température, contrairement à leurs homologues « normales ». Les RF de type GSM n'ont pas d'effet sur l'apoptose des levures normales ou mutantes. En revanche, elles potentialisent l'apoptose induite par des UV-B dans les levures mutantes, mais pas dans les levures normales.

Dans des cellules mammifères, quelques études ont donné des résultats contradictoires. *Marinelli et coll. (2004)* ont montré une diminution de la viabilité cellulaire des cellules humaines tumorales après une exposition de 48 heures à un signal GSM-900 d'un DAS de 3,5 mW/kg. Cet effet apparaît lié à l'induction du processus apoptotique dès 2 heures d'exposition. Le suivi de l'expression de plusieurs gènes liés à l'apoptose montre une expression séquentielle de gènes pro-apoptotiques puis de gènes anti-apoptotiques. L'interprétation des auteurs sur une plus grande « agressivité » des cellules tumorales sous exposition RF n'est pas justifiée par les résultats expérimentaux.

En revanche, *Capri et coll. (2004)* n'ont pas observé d'effet pro-apoptotiques de signaux GSM-1800 (différentes modulations) sur des cellules du sang de donneurs jeunes et âgés, même lorsque l'apoptose était induite par un agent chimique. De plus, *Hook et coll. (2004, voir chapitre 3-1)* n'ont pas retrouvé les effets des signaux américains de téléphonie mobile sur l'apoptose dans les cellules humaines Molt4 observés par *Phillips et coll. (1998)*.

L'expression de gènes (et de leurs produits) sous exposition RF a été étudiée dans différents modèles.

Poursuivant ses études, le groupe de Leszczynski (*Nylund et coll., 2004*) a mis en évidence sur la base d'une étude protéomique²⁹, une surexpression de 38 protéines parmi lesquelles 2 protéines du cytosquelette ont été identifiées. La réflexion de Leszczynski sur l'utilisation des techniques de screening de protéines est intéressante sur la possibilité de fournir des hypothèses d'études. Cependant, il faudra rester prudent pour éviter toute extrapolation directe ou abusive de tels résultats cellulaires à des effets physiopathologiques chez l'homme.

Czyz et coll. (2004) ont montré que, parmi différents signaux de type GSM-1800, seul le signal modulé à 217 Hz (DAS de 1,5 W/kg) pouvait induire l'expression de gène de réponse précoce et de gènes de stress dans des cellules souches embryonnaires déficientes pour le gène p53, tandis que les cellules souches normales et les cellules embryonnaires P19 ne montrent aucune sensibilité à l'exposition.

En revanche, *Capri et coll. (2004)* n'ont pas mis en évidence d'effet de signaux GSM-1800 sur la protéine Hsp70.

Le travail de *Yao et coll. (2004)* sur des cellules de cornée de lapin ne comporte aucune description de l'exposition (système d'exposition, DAS) et ne présente donc pas les critères nécessaires pour être pris en considération.

²⁹ Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. (2002) 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*, 70: 120-129.

Desta et coll. (2003) n'ont pas retrouvé, dans les cellules de souris L929, l'augmentation de l'activité de l'enzyme ODC sous exposition RF publiée par *Penafiel et coll. (1997)*³⁰. Ils ont par ailleurs montré que la réponse à une augmentation de température est une diminution de l'activité enzymatique. Une autre étude de confirmation est en cours en France et en Finlande qui permettra probablement de conclure sur l'effet des RF sur l'activité enzymatique ODC.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle/Méthode	Résultats
<p>Markkanen A, Penttinen P, Pelkonen J, Sihlvonen AP, Juutilainen J, Bioelectromagnetics, 25 :127-133</p> <p><i>Apoptosis induced by UV radiation is enhanced by AM RFR in mutant yeast cells</i></p>	<p>- Source : 872 et 900 MHz, modulé ou non (217 Hz), avec UV-B (280-320 nm, 20 min), guide d'ondes</p> <p>DAS 900 MHz: 0,4 W/kg</p> <p>DAS 872 MHz: 3,0 W/kg ± 35%</p> <p>- Exposition : 1 h</p> <p>- Dosimétrie : calcul par FDTD et mesure de champ.</p> <p>Température régulée (bain et air) jusqu'à 10 W/kg (DT = 0,3°C)</p> <p>- Analyse statistique : ANOVA, tukey post hoc test.</p>	<p>Levures Saccharomyces Cerevisiae</p> <p>Souches sauvage (cdc-48 wild-type) et mutante (cdc-48 mutant), pour la cycline Cdc 48.</p> <p>Contrairement à la souche sauvage, les levures mutantes entrent en apoptose quand elles sont incubées à 37°C</p> <p>- Test d'apoptose : affinité pour l'annexine V</p> <p>- Apoptose mesurée 12 h après UV-B ± RF</p>	<p>- Pas d'effet des RF seules sur les levures sauvages et mutantes.</p> <p>- Augmentation de l'apoptose induite par les UV dans les souches mutantes uniquement, pour des niveaux comparables aux limites d'exposition locale aux RF</p>
<p>Marinelli F, La Sala D, Ciccio G, Cattin L, Trimarchi C, Putti S, Zamparelli A, Giuliani L, Tomassetti G, Cinti C, J.Cell Physiol, 2004, 198 :324-332</p> <p><i>Exposure to 900 MHz EMF induce an unbalance between pro apoptotic and pro survival signals in T-Lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cells</i></p>	<p>- Source : 900 MHz non modulé, cellule TEM</p> <p>DAS : 3,5 mW/kg</p> <p>Exposition sham (dans la TEM) et contrôle (hors TEM)</p> <p>- Exposition : 2, 4, 12, 24 et 48h</p> <p>- Dosimétrie : méthode non clairement précisée, mesures de E et H par analyseurs de spectres</p> <p>Température contrôlée par mesure infra rouge (DT ≤ 0,15°C)</p> <p>- Analyse statistique : test de Student.</p>	<p>Lignée lymphoïde CCRF-CEM</p> <p>- Test de viabilité (test au MTT),</p> <p>- Test d'apoptose : pic sub-G1 du cycle cellulaire et test de fragmentation de l'ADN par électrophorèse sur gel</p> <p>- Expression des gènes pro- ou anti-apoptotiques</p>	<p>- Diminution de la viabilité à 24 et 48 h</p> <p>- Cellules apoptotiques présentes dès 2 h d'exposition (ADN fragmenté, pic d'ADN en sub-G1)</p> <p>- Surexpression de gènes pro-apoptotiques bax, p53, p21 et anti-apoptotiques bcl₂, ras, akt1</p>
<p>Capri M, Scarcella E, Bianchi E, Fumelli C, Mesirca P, Agostini C, Remondini D, Chuderer J, Kuster N, Francheschi C, Bersani F, Int J Radiat biol, 2004, 80 : 389-397</p> <p><i>1800 MHz RF does not affect apoptosis and HSP 70 level in peripheral blood mononuclear cells from young and old volunteers</i></p>	<p>- Source : GSM 1800, 3 modulations (basic; 217 Hz, 1/8 – DTX; 2,8, 217 Hz, 12/104 – Talk; Basic + DTX) Guide d'onde IT'IS</p> <p>DAS : 1,4-2 W/kg</p> <p>- Exposition : 44 h</p> <p>- Dosimétrie : FDTD, mesures de champ et de température; contrôle de l'absence de points chauds et de la variabilité de DAS (20-29%).</p> <p>- Analyse statistique : test t de Student multiple</p>	<p>Cellules mononucléées du sang périphérique de donneurs sains</p> <p>Donneurs jeunes (27 ± 5 ans) et âgés (88 ± 1 ans)</p> <p>Induction de l'apoptose et de HSP70 par le 2-déoxyribose (2-dRib)</p> <p>- Test d'apoptose : affinité pour l'annexine V et potentiel transmembranaire mitochondrial</p> <p>- Expression protéine HSP70</p>	<p>- Pas d'effet des RF seules, aussi bien dans les populations jeunes qu'âgées</p> <p>- Pas de potentialisation de l'effet du 2dRib, aussi bien dans les populations jeunes qu'âgées</p>

30 Penafiel L. M., T. Litovitz, D. Krause, A. Desta, J. M. Mullins. "role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells", Bioelectromagnetics,18(2): 132-141, 1997.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle/Méthode	Résultats
<p>Czyz J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schonborn F, Schuderer J, Kuster N, Wobus AM, Bioelectromagnetics, 2004, 25(4) :296-307</p> <p><i>High frequency electromagnetic fields (GSM 1800 signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells</i></p>	<p>- Sources: GSM 1800 ou DCS-1,71 GHz en mode :</p> <ul style="list-style-type: none"> - modulé 217 Hz: DAS de 1,5W/kg - GSM basic : : DAS de 0,4 W/kg - GSM-DTX : : DAS de 0,11 W/kg <p>Cavité IT'IS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exposition : 6, 48 et 72 h, 5 min ON/30 min OFF - Dosimétrie : DAS mesuré et simulé (IT'IS) - Analyse statistique : test de Mann-Whitney 	<p>Cellules souches embryonnaires pluripotentes (ESC), sauvages (WT) ou déficientes pour le gène suppresseur de tumeur p53 (D).</p> <p>Cellules embryonnaires carcinogènes P19</p> <ul style="list-style-type: none"> - méthode RT-PCR - cytométrie de flux pour le cycle cellulaire - EST (embryonic stem test) pour la différenciation cardiaque 	<ul style="list-style-type: none"> - ESC-D : sur-régulation des niveaux d'ARNm pour hsp70, avec augmentation transitoire de c-jun, c-myc et p21 (GSM-217) - ESC-W : pas d'effet - Cellules P19 : pas d'effet - Pas d'effet sur la différenciation cardiaque
<p>Nylund R, Leszczynski D, Proteonomics, 2004, 4:1359-65</p> <p><i>Proteonomics analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM900 radiation</i></p>	<p>- Sources : GSM 900 MHz, guide d'ondes DAS= 2,4 W/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exposition : 1 heure - Méthode dosimétrique non précisée - Température contrôlée <p>Statistiques : tests t de Student sur spots normalisés</p>	<p>Cellules humaines endothéliales EA.hy926</p> <ul style="list-style-type: none"> - Examen du statut protéique par électrophorèse 2D ; analyse en spectrométrie de masse (MALDI-MS). 	<ul style="list-style-type: none"> - Modification portant sur 38 protéines - Identification de 4 protéines dont 2 protéines du cytosquelette (2 isoformes de la vimentine)
<p>Leszczynski D, Nylund R, Joevaara S, Reivinen J, Proteonomics, 2004, 4:426-431</p> <p><i>Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation</i></p>	<p>Réflexion méthodologique</p>	<p>Intérêt des méthodes de screening rapide de protéines (transcriptomique et protéomique).</p> <p>Suggestion de stratégie sur l'exemple de HSP27</p>	
<p>Desta AB, Owen RD, Cress LW, Radiat Res., 2003, 160(4):488-91</p> <p><i>Non-thermal exposure to RF energy from digital wireless phones does not affect ODC activity in L929 cells</i></p>	<p>- Sources : TDMA 835 MHz, cellule de Crawford, DAS = 1 W/kg—15 W/kg</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exposition : 8 h - Température contrôlée et mesurée (Luxtron) - Dosimétrie : calcul du DAS 	<p>Fibroblastes murins L929</p> <ul style="list-style-type: none"> - Activité de l'enzyme Ornithine DéCarboxylase (ODC) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de différence avec le témoin dans les ordres de grandeur de DAS non-thermiques. -Diminution de l'activité ODC linéaire avec la température. Réplication négative des expériences de Penafiel et coll., (1997)

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle/Méthode	Résultats
<p>Yao K, Wang KJ, Sun ZH, Tan J, Xu W, Zhu LJ, Lu DQ, Molecular Vision 2004; 10:138-43</p> <p><i>Low power microwave radiation inhibits the proliferation of rabbit lens epithelial cells by upregulating P27^{Kip1} expression</i></p>	<p>- Sources : 2450 MHz, système d'exposition non décrit</p> <p>- Exposition : 8 h</p> <p>- Densités de puissance: 0,1-0,25-0,50- 1 et 2 mW/cm²</p> <p>- Température : exposition réalisée à 25°C avec une différence de 0,6°C maximum entre sham et exposés</p> <p>- Dosimétrie : DAS non mentionné</p> <p>Absence des critères de qualité pour l'exposition</p>	<p>Cellules épithéliales de cornée de lapin</p> <p>- Prolifération cellulaire</p> <p>- Expression protéique</p>	<p>- Inhibition de la prolifération cellulaire.</p> <p>- Surexpression de la protéine P27^{Kip1} impliquée dans le cycle cellulaire.</p>

5.4.3 Lipoperoxydation et radicaux libres

La production de radicaux libres contribue à l'altération des cellules et de leurs membranes (lipoperoxydation); ils sont par exemple impliqués dans le vieillissement.

L'étude de *Zmyslony et coll. (2004)* suggère que les RF de type GSM n'induisent pas la formation de radicaux libres, mais semblent capables d'augmenter leur production induite par le FeCl₂.

Auteur/Revue/Titre	Source/DAS/Dosimétrie	Modèle/Méthode	Résultats
<p>Stopczyk D, Gnitecki W, Buczynski A, Markuszewski L, Buczynski J, Prat. Med., 2002, 53(4):311-14</p> <p><i>Effects of EMF produced by mobile phones on the activity of SOD and the level of MDA; an vitro study</i></p>	<p>Source : GSM 900 MHz,</p> <p>-Exposition : 1, 3,5, 7 min</p> <p><i>Absence des critères de qualité pour l'exposition (dosimétrie)</i></p>	<p>Suspensions de plaquettes</p> <p>- Activité Superoxyde Dismutase (SOD)</p> <p>- Dosage malonyl dialdéhyde (MDA, méthode TBA)</p>	<p>- Chute de l'activité SOD à 1, 5, 7 min et remontée à 3 min</p> <p>- Evolution inverse du MDA</p>
<p>Zmyslony M, Politanski, P, Rajkowska E, Smyczak W, Jajte J, Bioelectromagnetics, 2004, 25 :324-328</p> <p><i>Acute exposure to 930 MHz CW EM radiation affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated with iron ions</i></p>	<p>Source : 930 MHz, CW, cellule GTEM</p> <p>5 W/m²,</p> <p>DAS : 1,5 W/kg</p> <p>Exposition : 5-15minutes</p> <p>Dosimétrie : mesure directe (±10%), calcul de DAS (méthode non précisée)</p>	<p>Lymphocytes de rats Wistar</p> <p>Dosage par fluorescence (DCF-DA) des radicaux oxygénés avec ou sans stress oxydatif (FeCl₂)</p>	<p>- Pas d'effet des RF en l'absence de stimulation FeCl₂</p> <p>- Des niveaux supérieurs d'espèces réactives sont produits en présence de FeCl₂</p> <p>Référence au mécanisme de recombinaison des paires de radicaux</p>

5.4.4 Conclusions sur les études cellulaires

L'absence d'effets génotoxiques des RF de faible niveau de DAS est confirmée par les études les plus récentes. Les quelques études sur le processus apoptotique semblent contradictoires, mais l'utilisation de modèles très différents n'autorise pas vraiment à les confronter. Pour la première fois, des études suggèrent que le patrimoine génétique des cellules pourrait jouer un rôle dans leur réponse (expression

génique, apoptose) à certains signaux RF, mais aucune n'a utilisé des cellules humaines. Enfin, on peut signaler que les effets des RF de faible DAS sur l'activité de l'ODC n'ont pas été confirmés.

5.5 Approches biophysiques et mécanistiques

En l'absence d'effets biologiques établis à faible niveau de DAS, il est difficile d'émettre de nouvelles hypothèses mécanistiques et seuls les effets thermiques sont considérés comme connus. Néanmoins, des études sont en cours pour mieux connaître les valeurs de champs à l'échelle microscopique (ex : Munoz-San et al. 2003) et pour concevoir des modèles *in vitro* adaptés à l'étude des effets non thermiques (ex : Ramundo-Orlando et al. 2004).

AUTEUR/REVUE/TITRE	Source/DAS/Dosimétrie	Méthode	Résultats
Munoz-San MS, Sebastien JL, Sancho M, Miranda JM, Phys Med Biol, 2003, 48(11):1649-59 <i>A study of field electric distribution in erythrocytes and rod shape cells from direct RF exposure</i>	Sources : 900 MHz et 2,45 GHz FDTD Résolution des équations de Laplace en utilisant la méthode des éléments finis. Application sur la distribution intramembranaire au modèle ellipsoïdal, aux globules rouges et aux bâtonnets	La distribution des champs électriques induits dépend de la fréquences, des propriétés électriques des membranes et du cytoplasme, et de l'orientation dans le champ.	Si on souhaite une simulation précise des bioeffets des RF, le modèle ellipsoïde de cellules n'est qu'une approximation très grossière. Approche intéressante des effets locaux ; support aux effets liés à la nature (géométrie) même de la cellule considérée...
Ramundo-Orlando A, Liberti M, Mossa G, D'Inzeo G, Bioelectromagnetics, 2004, 25(5) :338-45 <i>Effects of 2.45GHz micro waves fields on liposomes entrapping glycoenzyme ascorbate oxydase ; evidence for oligosaccharide side-chain involment</i>	2,45GHz, recherche d'une relation dose effet de 1,2 à 5,6W/kg, (résultats antérieurs du même auteur montrent l'effet à ce DAS)	Activité Ascorbate oxydase (AO), estimée en Km et Vmax Mesures sur l'absorbance de l'ascorbate. Rien en dessous de 5,6W/kg sur AO Sur AO- déglycosylée, modification de l'activité enzymatique ; Pas de changement de l'activité catalytique : rôle de la partie glycosylée	Conclusion : Il est souhaitable d'investiguer le rôle des chaînes oligosaccharidiques dans les effets des micro ondes sur les lipides

5.6 Interférences avec les implants

Deux études animées du souci de dépister les éventuelles interférences entre les RF des mobiles et certains dispositifs de prothèses sont à retenir. Ainsi *Grant et coll. (2004)* ont analysé *in vitro* les interactions électromagnétiques éventuelles entre les mobiles et des dispositifs implantés tels les pacemakers ou autres prothèses électroniques, stimulateurs en particulier (Cyberonics NeuroStar (Model 102) NeuroCybernetic Prosthesis, NCP). L'article se fonde sur 1080 tests et conclut à l'absence d'interactions. Il a l'avantage de détailler la procédure expérimentale utilisée, et prétend à ce titre avoir une valeur didactique.

Avec *Kainz et coll. (2003)*, le même type de comparaison est effectué cette fois avec 10 types de mobiles GSM à 900 MHz et 10 types à 1800 MHz à propos de leur éventuelle action sur les stimulateurs

cérébraux profonds implantés pour certaines pathologies nerveuses, par exemple chez les parkinsoniens. Le modèle est étudié *in vitro* sur un fantôme conçu spécialement pour tester ces stimulateurs (en l'espèce ici le ITREL-III de Medtronic Inc., USA). Même avec des puissances de 1 W pour les dispositifs à 1800 MHz et 2 W à 900 MHz, aucune influence n'a été décelée, sur le stimulateur ITREL-III. Ces investigations ne mettent donc en évidence aucun risque direct pour des patients porteurs d'un ITREL III et utilisant un GSM dans des conditions normales. Le test se poursuit en plaçant au voisinage immédiat de l'ITREL un dipôle émettant en fréquence continue; il semble en revanche avoir une possible action. Les recommandations sont les mêmes qu'avec les pacemakers cardiaques : utiliser l'oreille opposée à l'implant; éviter de porter le téléphone à proximité de l'implant.

5.7 Enfants : spécificités (dosimétrie, effets biologiques)

Plusieurs documents récents ont envisagé la possibilité d'une sensibilité particulière des enfants vis-à-vis d'une exposition aux champs radiofréquences (*Van Rongen et coll. 2004 ; SSI, 2004 ; Lin, 2004*). L'OMS a suscité la réunion d'un groupe de travail à Istanbul (Turquie) en juin 2004, afin de réaliser une évaluation des informations disponibles concernant la sensibilité des enfants aux champs RF et d'identifier des axes de recherche à privilégier. Ce chapitre est basé sur l'ensemble de ces documents.

Dans les pays industrialisés comme dans les pays en voie de développement, les enfants sont exposés à une multitude d'agents chimiques, physiques et biologiques présents dans l'environnement. De telles expositions environnementales peuvent être particulièrement préjudiciables pour les enfants du fait de leur sensibilité accrue pendant la période de leur développement et de la possibilité d'effets irréversibles sur leur santé. Avec le développement des technologies utilisant des champs RF, en particulier pour les communications mobiles et sans fil, le nombre de sources d'exposition aux RF a nettement augmenté. L'adoption de ces technologies par des enfants de plus en plus jeunes a suscité des questions sur la possibilité d'un niveau de risque particulier pour les enfants.

Le développement de l'organisme est de nature différente chez l'embryon, le nourrisson, l'enfant et l'adolescent. Le développement au cours de la période prénatale est caractérisé par des séquences très ordonnées de prolifération cellulaire et de différenciation, de migration et de mort cellulaire programmée (apoptose). Il comporte trois étapes majeures : la période pré-implantatoire (de la fertilisation à implantation de l'embryon dans la paroi utérine), une période d'organogenèse et la période fœtale au cours de laquelle les différentes structures se développent. Le système nerveux en développement semble particulièrement vulnérable à cause du nombre et de la répartition limités des sites où se trouvent les cellules en prolifération qui sont à son origine. Après la naissance, le développement de la majorité des tissus et des organes s'achève à maturité sexuelle complète, entre 20 et 30 ans. Le développement du système nerveux central se poursuit au cours de l'enfance et de l'adolescence avec les processus de myélinisation et de synaptogenèse.

Au cours des étapes de développement embryonnaire et fœtal, l'exposition à des produits toxiques peut conduire à la mort, à des malformations congénitales, à un retard de croissance du fœtus ou des organes, à un retard mental, une microencéphalie, des perturbations neurocomportementales ou à une naissance prématurée. Au cours des étapes du développement postnatal chez le nourrisson, l'enfant et l'adolescent, de telles expositions peuvent entraîner des retards de croissance ou des cancers, interférer avec la fertilité, les fonctions endocrines ou le développement du système immunitaire ou altérer le développement neurologique, etc. (*Rodier, 2004*).

Peu d'agents présents dans l'environnement ont été évalués à ce jour quant à leurs effets sur les enfants. Une susceptibilité accrue à certains toxiques (plomb) ou agents physiques (radiations ionisantes) a été démontrée chez les enfants. Dans certains cas, cette susceptibilité pourrait impliquer des divisions cellulaires plus nombreuses dans les tissus ou les organes en développement, mais les mécanismes d'une telle susceptibilité ne sont pas encore bien compris. De plus, des cas de résistance accrue ont également été décrits.

Le nombre d'adolescents en possession d'un téléphone mobile augmente rapidement, et l'on note que des enfants de plus en plus jeunes sont concernés. Lorsqu'ils auront atteint l'âge adulte, les enfants d'aujourd'hui auront connu une période d'exposition plus longue à des RF que les adultes actuels ; néanmoins, l'évolution de la technologie entraîne également une évolution de l'usage du téléphone portable qui tend à s'éloigner de la tête (voir chapitre 4).

Dans le cas des téléphones mobiles, la question est de savoir si l'absorption des RF dans la tête des enfants et des adultes est différente. En effet, de nombreuses différences existent dans l'anatomie et la physiologie qui pourraient influencer sur cette absorption. Ainsi, la modélisation dosimétrique des expositions aux RF des téléphones doit-elle tenir compte des différences de taille et de morphologie de la tête, d'épaisseur du crâne et des propriétés diélectriques des tissus.

La modélisation du DAS dans des modèles de tête d'enfant basés sur la réduction homogène ou non de modèles de tête adulte est inadaptée (*Anderson, 2003*). Seules des images par IRM, qui tiendront compte des variations liées à l'âge et des variations existant entre enfants, permettront d'améliorer la validité des modèles de tête d'enfant. Il apparaît toutefois aujourd'hui qu'en dépit de différences importantes dans la taille, la forme et la distribution des tissus dans la tête des enfants, les valeurs de DAS sont très similaires à celles des adultes. La profondeur de pénétration relative est cependant supérieure chez les enfants du fait de la taille inférieure de leur tête (*Martinez-Burdalo M, 2004*).

L'évaluation d'un rôle potentiel des expositions environnementales dans le développement des maladies de l'enfant doit également prendre en compte les expositions lors de la gestation et donc l'exposition de la mère. Dans le cas des téléphones mobiles, l'utilisation du kit mains-libres risque de "rapprocher" le téléphone de l'abdomen. Les premières estimations indiquent que, dans ce cas, l'exposition du fœtus est très faible (*Kainz et coll. 2003*). Les modèles développés actuellement devraient procurer une résolution encore meilleure.

En ce qui concerne les données biologiques, le seul mécanisme clairement identifié est celui lié à un échauffement des tissus lors d'exposition à des niveaux d'énergie élevés. Les mécanismes qui pourraient aboutir à des effets à niveau faible d'exposition ne sont pas aujourd'hui connus.

Les études les plus pertinentes pour l'évaluation d'une sensibilité potentiellement plus importante des enfants vis-à-vis d'une exposition RF sont revues ci-dessous. Ces études concernent le cancer et le système immunitaire, le développement, le comportement et les fonctions cognitives.

Cancer et système immunitaire

Seules quelques études ont utilisé des expositions prénatales ou des expositions de rongeurs nouveaux-nés. *Adey et coll. (1999)*³¹ ont exposé des rates gestantes à des signaux américains de

³¹ Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray A, Stagg RB, Zimmerman G, Phillips JL, Haggren W. (1999) Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats

téléphonie mobile. Aucun effet n'a été observé sur l'apparition des tumeurs spontanées du système nerveux central (SNC) dans les portées des rats exposés. De plus, les auteurs ont noté une tendance à la diminution de l'incidence des tumeurs du SNC chez les rats traités in utero par le cancérigène chimique ENU³².

Les autres études de cancérogenèse ont porté sur des animaux âgés de 5 ou 6 semaines et sexuellement matures (à comparer à des adolescents ou des jeunes adultes) au début de l'exposition qui dure deux ans, soit la quasi-totalité de leur vie. Les processus d'initiation et de promotion ont été étudiés. Toutes les études de ce type ont donné des résultats négatifs chez les animaux normaux exposés à des niveaux de DAS compatibles avec la téléphonie mobile (voir chapitre 5; *Heikkinen et coll. 2001*³³; *Zook et coll. 2001*³⁴; *Bartsch et coll. 2002*³⁵). Le travail montrant une augmentation de l'incidence des tumeurs chez des souris prédisposées à développer des lymphomes et exposées à des RF (*Repacholi, et coll., 1997*³⁶), n'a pas été confirmé ultérieurement (*Utteridge et coll., 2002*³⁷).

A notre connaissance, seule l'étude négative de *Gatta et coll. (2003)* s'est intéressée aux effets des RF de la téléphonie mobile sur le système immunitaire (voir chapitre 5). S'il est généralement admis que les agents qui ne perturbent pas le système immunitaire chez l'adulte n'altèrent pas celui des enfants, il serait nécessaire de mener des études adéquates pour le vérifier.

Développement

Les nombreuses études qui ont évalué les effets des champs RF sur le développement chez les mammifères, les oiseaux et autres espèces ont montré sans équivoque que les RF sont tératogènes à des niveaux d'exposition suffisamment élevés pour entraîner une augmentation significative de la température (*revue de Heynick and Merritt 2003*).

Pour ce qui est du processus de différenciation dont le rôle est majeur lors du développement des organismes, seule l'étude de *Czyz et coll. (2004)* a montré une réponse différente de cellules souches de souris, normales ou déficientes en gène suppresseur de tumeur p53 (chapitre 5).

Comportement et fonctions cognitives

Les études disponibles sur les effets des RF des téléphones mobiles sur les fonctions cognitives (attention, mémoire, etc.), le sommeil ou l'activité électrique du cerveau ont été réalisées chez des sujets adultes. Un certain nombre d'entre elles sont présentées dans ce rapport (chapitre 5) et globalement aucune réponse reproductible n'a été mise en évidence après des expositions de courte durée. L'extrapolation de ces résultats aux enfants est possible, mais nul ne peut en garantir la validité pour l'évaluation du risque associé. Il faudra donc attendre les résultats des quelques équipes qui testent les fonctions cognitives, l'EEG et la survenue de symptômes subjectifs chez des adolescents exposés à des RF.

chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res* 152:293-302

³² ENU: éthylnitrosourée

³³ Heikkinen P, Kosma VM, Hongisto T, Huuskonen H, Hyysalo P, Komulainen H, Kumlin T, Lahtinen T, Lang S, Puranen L, Juutilainen J. (2001) Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res* 156:775-85

³⁴ Zook BC, Simmens SJ. (2001) The effects of 860 MHz radiofrequency radiation on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiat Res* 155:572-83

³⁵ Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Vollrath L, Mecke D. (2002) 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. *Radiat Res* 157:183-90

³⁶ Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. (1997) Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 147:631-40

³⁷ Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. (2002) Long-Term Exposure Of Eμ-Pim1 Transgenic Mice To 898.4 Mhz Microwaves Does Not Increase Lymphoma Incidence. *Radiation Research* 158, 357-64.

Les effets possibles des champs RF sur l'animal ont été étudiés aux moyens d'approches allant de la recherche de l'expression de gènes spécifiques et de l'activité de neurotransmetteurs jusqu'aux études comportementales. La majorité des effets rapportés sous exposition RF ont été reliés à des effets hyperthermiques ou à différents types de stress associés à l'exposition (immobilisation notamment). Le cas des travaux de Lai rapportant des altérations du comportement de rats exposés à des RF pulsées est discuté dans ce rapport (chapitre 5). On peut également mentionner ici l'existence d'études contradictoires sur les effets des RF de faible niveau de DAS sur la barrière hémato-encéphalique ; des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer le risque de maladies neurodégénératives lié à l'utilisation des téléphones mobiles.

Conclusions

L'ensemble des données présentées met bien en évidence le manque actuel de connaissances sur la sensibilité éventuellement plus importante des enfants aux RF, comme d'ailleurs à de nombreux autres facteurs environnementaux.

L'absence d'effets délétères majeurs chez l'animal ou l'homme adulte n'est qu'un indicateur imparfait de ce qui peut se passer chez les nouveaux-nés ou les jeunes. Par exemple, la période embryonnaire est marquée par des phénomènes de croissance et de différenciation, que l'on ne retrouve pas chez les adultes. En l'absence d'études spécifiques destinées à évaluer les réponses d'animaux exposés in utero ou dans la toute première période de leur vie, rien ne permet d'écarter la possibilité d'un effet délétère n'existant pas chez des adultes, ni à l'inverse celle d'une capacité de récupération supérieure chez les enfants. Aussi, il apparaît nécessaire de concevoir et réaliser des études expérimentales capables de fournir des données directes et exploitables sur l'existence d'une susceptibilité particulière des enfants à l'exposition aux RF.

5.8 Conclusion sur les terminaux mobiles

La parution d'une étude mettant en évidence un possible accroissement du risque de survenue d'un neurinome du nerf vestibulo-acoustique lors d'un usage prolongé du mobile, et le fait que l'étude danoise, négative en ce qui concerne un excès d'incidence du neurinome, mais semblant montrer une augmentation de la taille des tumeurs du côté de l'usage du mobile, étayaient le doute suscité par des études précédentes. Les mécanismes physiopathologiques possibles ne sont à ce jour pas évidents. Par contre, il n'y a pas de nouvel élément en ce qui concerne les autres types de tumeurs de la tête. Les analyses statistiques encore peu poussées, liées aux effectifs encore faibles de ces études, ne permettent pas d'approfondir la relation cause-effet. Il reste donc nécessaire d'attendre les résultats de l'étude INTERPHONE. Cette étude internationale ne répondra cependant pas à la question d'une possible sensibilité accrue des enfants.

Par contre, il semble avéré que l'usage de téléphones dans certaines conditions (appels longs, puissances élevées) peut entraîner chez certains sujets des symptômes locaux en relation avec l'échauffement dû à la batterie, ce qui avait déjà été souligné lors du rapport d'expertise précédent. En ce qui concerne les autres types de pathologies en particulier neurologiques, aucune nouvelle étude n'apporte d'élément consistant sur un effet possible.

Enfin si le risque accidentel est peut être moins élevé que celui mesuré dans les premières études, il persiste même lors de l'usage de kits mains libres.

En ce qui concerne les études expérimentales humaines, il est clair qu'un trop grand nombre d'investigations manque cruellement de données dosimétriques précises. Il est à remarquer que certains résultats laissent apparaître un effet favorisant la performance. Quelques autres explorations font état

d'altérations de marqueurs (en particulier électro-physiologiques) alors que les tests comportementaux restent normaux, ce qui suggère, ou bien que ces tests comportementaux sont insuffisamment sensibles, ou bien qu'ils n'ont pas de relation précise avec les marqueurs. Les publications récentes montrent donc qu'en l'absence d'échauffement, il n'existe pas de preuve de l'existence d'effets néfastes avérés sur la santé humaine.

Les résultats expérimentaux animaux ou cellulaires obtenus à faible niveau soulèvent peu de questions nouvelles : l'existence d'effets à faible niveau durant la gestation ne peut pas être exclue et les recherches dans ce sens devraient être poursuivies ; les études de copromotion tumorale, en présence de carcinogènes identifiés ne mettent pas en évidence d'effet de l'exposition sur le développement tumoral. Cependant, dans le cas du DMBA, l'association avec les RF à relativement faible niveau appelle davantage d'investigations, notamment quant aux mécanismes éventuels de copromotion par les RF. L'absence d'effets génotoxiques des RF de faible niveau de DAS est confirmée par les études les plus récentes. Les quelques études sur le processus apoptotique semblent contradictoires, mais ne peuvent pas être comparées du fait de l'utilisation de modèles très différents. Pour la première fois, des études suggèrent que le patrimoine génétique des cellules pourrait jouer un rôle dans leur réponse (expression génique, apoptose) à certains signaux RF, mais aucune n'a utilisé des cellules humaines.

6 EFFETS BIOLOGIQUES ET SANITAIRES DES STATIONS DE BASE

6.1 Epidémiologie

6.1.1 Rapport sur St Cyr l'Ecole

L'investigation menée à Saint-Cyr-l'Ecole est une étude épidémiologique de type descriptive. Cette étude, qui répondait à un signal sanitaire donné par le Maire et des associations locales, visait deux objectifs :

- évaluer l'existence d'un agrégat de cancers de l'enfant (0-14 ans) dans la commune de Saint-Cyr-l'Ecole, entre 1990 et 2002,
- identifier une éventuelle source environnementale pouvant en être à l'origine

11 cas de cancer ont été recensés parmi des enfants âgés de 0 à 14 ans habitant Saint-Cyr-l'Ecole au moment du diagnostic et sur une période d'étude définie du 1er janvier 1990 au 31 décembre 2002 (alors que le nombre de cas attendus à partir des registres étaient de 5 à 6 cas). Notamment, on dénombre 5 cancers du SNC alors que le nombre de cas attendu pour ce type de cancer est de 1,2 (c'est à dire de 1 à 2 cas).

Cependant, devant l'hétérogénéité des types de cancer et au regard des résultats de l'enquête environnementale, l'InVS conclut que cette distribution « peut correspondre aux fluctuations habituelles autour de l'incidence moyenne, sans être pour autant le reflet d'une situation anormale ».

L'étude était de nature purement descriptive, à la recherche de l'existence éventuelle d'un agrégat de pathologies et non une étude analytique visant à tester le lien éventuel entre l'existence de ces pathologies et la présence des stations de base. En effet, l'InVS a considéré sur la base des avis des comités d'experts internationaux, que la proximité des antennes de stations de base ne représentait pas un risque sanitaire, compte tenu des niveaux d'exposition extrêmement faibles des populations aux

champs électromagnétiques émis par ces relais et de l'absence d'éléments scientifiques montrant l'existence d'un risque à de si faibles niveaux.

Par contre, dans le cadre de l'investigation des sources potentielles de nuisances environnementales, l'InVS a réalisé plusieurs investigations lui permettant de localiser toutes les sources de champs électromagnétiques de radio transmission sur le territoire de la commune de St Cyr l'Ecole. Ce travail de localisation ne permet pas de mettre en évidence un agrégat de cas ni autour des stations de base, ni dans les faisceaux Hertiens existants sur la commune.

L'étude n'a pas porté sur les symptômes et pathologies rapportés par certains habitants du quartier de l'Epi d'Or lors de l'enquête, non représentative, faite par le collectif d'associations ; en effet, ces symptômes et pathologies chez des personnes adultes représentent des cadres très variées n'ayant aucun lien les uns avec les autres ; quant aux symptômes, ils sont peu spécifiques et font partie des plaintes les plus fréquentes dans une population. Une partie de ceux-ci pourraient être réactionnels au stress.

6.1.2 Travaux épidémiologiques

Un nombre limité³⁸ de travaux est à mentionner, portant sur les effets éventuels de l'exposition aux stations de base. On retient la deuxième publication concernant l'enquête poursuivie par Santini (Santini, 2003) sur la santé des riverains de ces installations, dont un article paru en 2002 avait apporté les premiers résultats. Cette nouvelle publication analyse l'effet de l'âge des sujets, de la durée d'exposition et de leur position par rapport aux autres sources électromagnétiques. L'enquête est effectuée par questionnaire sur 530 sujets Ce questionnaire porte sur les troubles subjectifs de personnes interrogées, qui ont utilisé un mobile plus de 20 min/j. Ces sujets se plaignent de troubles du sommeil, de maux de tête et de fatigue. Certains autres facteurs sont également pris en compte dans l'analyse, telle la proximité d'émetteurs TV. L'auteur compare les symptômes dont se plaignent les sujets en fonction de leur distance d'habitat par rapport aux antennes de station de base. Il conclut à la dangerosité de rester à moins de 300 m d'une station relais. Il est nécessaire de rappeler qu'un biais majeur dans la sélection des populations d'étude ne permet pas de prendre en compte les conclusions des auteurs. Le développement d'une pathologie de stress, qui serait effectivement due à la crainte de l'antenne présente et surtout visible n'est donc toujours pas à exclure. Deux études de clusters de cancers, réalisées en Allemagne et en Israël par des médecins de soins, ont été publiées dans des revues locales non répertoriées au niveau scientifique international. Ces études souffrent de biais méthodologiques importants, notamment dans la définition des populations d'étude et il n'est pas possible d'en tenir compte (*Eger et coll., 2004*)(*Wolf R and Wolf D, 2004*). Malheureusement, même si ces évaluations sont très critiquables, elles restent très citées et porteuses. Compte-tenu de la multiplication des antennes, de tels effets, s'ils étaient avérés, auraient entraîné une recrudescence des consultations auprès des médecins tellement importante qu'elle n'aurait pas manqué d'attirer l'attention des acteurs de soins.

38 Il est assez normal de ne trouver qu'un nombre limité d'études sur ce sujet, dans la mesure où différentes instances officielles ou groupes d'experts ont préconisé de ne pas se lancer dans ce type d'étude avant les résultats des études sur les appareils eux-mêmes, considérant que les niveaux d'exposition étaient bien plus faibles pour les populations exposées aux stations de base que pour les utilisateurs de mobiles, et en l'absence de possibilité de mesurer l'exposition des sujets de façon individualisée.

6.1.3 Travaux en cours

Une étude est en cours de mise en place en Grande-Bretagne. Son objectif est l'étude de l'incidence des cancers de l'enfant à proximité des stations de base de téléphonie mobile. Il s'agit d'une étude de type cas-témoin mise en place par l'équipe dirigée par Elliott.

6.2 L'étude TNO

6.2.1 Résumé de l'étude TNO³⁹

Dans une étude hollandaise, rendue publique en septembre 2003, des volontaires ont été exposés brièvement à des ondes similaires à celles émises par les antennes de stations de base (Etude COFAM : COgnitive Functions And Mobiles; *Swamborn et coll., 2003*). Ces expériences ont été faites dans un laboratoire de recherche réputé : TNO (Laboratoire de physique et d'électronique) qui a décrit ces résultats dans un rapport et des conférences publiques, mais ne les a pas encore publiés dans un journal scientifique.

Pour cette étude, deux groupes de sujets ont été constitués : le groupe A, constitué à partir d'un registre de déclaration de sujets se disant sensibles aux effets des antennes de téléphonie mobile et un groupe B constitué de sujets ne présentant aucun trouble près d'une antenne. La structure d'âge et de sexe de ces deux groupes est très différente, différence liée aux difficultés à recruter des sujets.

Le premier objectif de l'étude était de tester les fonctions cognitives, à l'aide du test Taskomat, lequel teste les temps de réaction, l'attention visuelle, la comparaison de mémoire et les double tâches. Le deuxième objectif était aussi de tester une notion de bien-être subjectif, défini en termes de score en réponse à un questionnaire normalisé. Deux questionnaires ont été utilisés, après la fin de chaque séance d'exposition : le questionnaire Big-Five et le questionnaire Well-Being. Le questionnaire Big-Five teste des notions psychologiques, comme le caractère névrotique, l'extraversion, l'ouverture d'esprit, l'amabilité, le caractère consciencieux. Le questionnaire de bien-être (Well-Being), de son côté, teste sous forme de scores quantitatifs notés de 0 à 3 différents types de manifestations : signes d'anxiété, signes somatiques, signes dépressifs, signes d'hostilité, sentiment d'infériorité. Le score est établi pour chaque type de manifestation, les auteurs ont ensuite réalisé une sommation des scores pour établir une sorte de score total de notion de bien-être ou de qualité de vie,

Il s'agissait là d'une étude pilote de faible ampleur qui a montré que des effets de faible amplitude étaient observés sous exposition, en particulier pour les sujets non sensibles, surtout pour les paramètres de bien-être et surtout pour le signal UMTS de troisième génération, plutôt que pour les signaux GSM 900 et 1800. La conclusion des auteurs était que les signaux UMTS avaient un effet délétère sur le bien-être dans les deux groupes.

6.2.2 Critiques formulées sur l'étude TNO⁴⁰

Cette étude a été critiquée au niveau de sa méthodologie (analyse statistique, mode de fonctionnement des émetteurs, utilisation des questionnaires de bien-être, etc.), mais constitue une étude de référence

39 TNO Physics and Electronics Laboratory. **Effects of Global Communication system radio frequency fields on Well Being and Cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints**. Report September 2003

40 Knottnerus et coll Health Council of the Netherlands : TNO study on the effects of GSM and UMTS signals on well-being and cognition. Review and recommendations for further research. Report June 2004

qui est en cours de réplication (*Achermann, Kuster et coll.* financé par la Fondation suisse de téléphonie mobile).

Récemment (juin 2004), le comité EMF du "conseil de la santé" néerlandais a remis ses conclusions sur l'étude TNO au Ministère de la santé.

Sur la base des réponses fournies par les auteurs de l'étude TNO à ce comité, celui-ci a conclu que l'étude était de bonne qualité en termes de conception et de réalisation mais que des commentaires devaient être faits sur l'interprétation des résultats.

En effet, les signaux GSM 900 et 1800 n'avaient pas d'effets sur le bien-être dans les deux groupes de volontaires tandis que le signal UMTS provoquait un accroissement de l'indice, correspondant à un effet délétère (faible) dans les deux groupes, mais à un niveau de champ rarement rencontré dans l'environnement quotidien du public.

A la suite du débat qui a eu lieu concernant la validité du questionnaire utilisé, il est recommandé par ce comité que cette validité soit vérifiée dans des expérimentations distinctes.

Pour ce qui est des fonctions cognitives, l'analyse statistique poussée des résultats a montré que, seulement pour le groupe B "non sensible", un effet (rapidité de réponse plus grande) est apparu dans les tests de mémoire de comparaison, sous exposition au signal UMTS. Pourtant, le comité ne conclut pas à l'existence d'un effet sanitaire à partir de ce résultat.

Une réplication de cette étude est donc fortement encouragée par le comité : il est conseillé de (i) maintenir le mode d'exposition aussi proche que possible de l'étude initiale (ii) augmenter le nombre de volontaires par groupe, (iii) demander aux volontaires s'ils perçoivent le champ, et (iv) utiliser le même questionnaire tout en le validant dans des études distinctes.

Le comité recommande également d'autres études complémentaires sur les effets éventuels des signaux UMTS. Les points suivants paraissent particulièrement importants : (i) peut-on objectiver la sensibilité particulière de certaines personnes ? (ii) existe-t-il une relation dose-effet entre exposition et effets, en fonction de l'intensité, de la durée et de la modulation des signaux ?

La conclusion finale du comité est qu'une réduction du bien-être n'est pas forcément associée à un effet sanitaire et donc à des mesures à prendre pour diminuer l'exposition aux signaux UMTS.

6.2.3 Avis du groupe d'expert

A la suite de la publication de cet article sur l'étude TNO, le groupe d'experts reconnaît la qualité initiale du plan d'expérimentation (différents groupes, ordre aléatoire des expositions, nombre de sujets...) mais s'interroge sur plusieurs aspects de l'étude et donc sur la réplication en cours. En effet une étude de réplication n'a une réelle pertinence que si elle évite les erreurs méthodologiques. Ces erreurs méthodologiques sont relativement lourdes et nécessitent de reconsidérer la méthodologie de l'étude.

Il est par exemple dommage que le plan d'expérience n'ait pas été complet de façon à avoir un plan d'expérience symétrique (toutes les paires n'ont reçu que deux expositions sur trois, auxquelles il faut ajouter le test d'entraînement préalable et le test placebo), quitte à diminuer le nombre de tests psychomoteurs réalisés pour rester dans des durées d'expérience acceptables.

Il aurait été intéressant de connaître le type d'information donnée au sujet du groupe de référence pour participer à l'étude (ce groupe pourrait-il être biaisé du fait de l'information donnée ?). Par ailleurs, le critère d'exclusion N°6 (i.e. toute autre condition qui peut interférer avec l'étude, en relation avec l'opinion

de l'investigateur) pour les deux groupes d'étude est trop vague pour s'assurer que là encore aucune possibilité de biais existe.

Les expériences ont été faites avec uniquement des signaux de test et sans trafic réel ce qui n'est pas un cas très réaliste.

Les résultats du test des fonctions cognitives sont pour le moins dispersés et peu cohérents ne permettant pas de fixer d'orientation générale, les quelques résultats significatifs vont plutôt dans le sens d'une amélioration des fonctions cognitives.

Le questionnaire relatif à la notion de bien être, visait à tester différents aspects de cette notion de bien-être et en outre d'élaborer une comparaison globale sur la base d'une somme des scores de ces différents aspects. On peut déjà s'interroger sur la validité d'une telle sommation de scores, par nature subjectifs. Par contre, l'étude n'a rendu aucun résultat relatif à des sensations de picotements, de maux de tête ou de nausées, comme on a pu le lire souvent.

Les conditions d'utilisation des deux tests de bien être n'apparaissent pas parfaitement conformes aux conditions validées d'utilisation, en particulier le fait que ces deux tests ont été utilisés successivement quatre fois dans la même journée à un intervalle de 45 minutes, ce qui n'est pas conforme aux règles d'utilisation de tels tests subjectifs prévus pour être évalués en principe sur une période de 6 semaines

La sommation des scores du test de bien-être ne semble pas totalement justifiée. De plus, ce test n'a pas fait l'objet d'une validation sérieuse dans son utilisation dans le contexte de l'étude TNO car il avait été construit comme un sous-ensemble d'un questionnaire adapté à des tests pharmacologiques liés au traitement de la dépression.

Deux aspects auraient dû être évalués avant l'étude : (i) le fait de n'utiliser qu'un sous-ensemble du test initial mesure t'il effectivement le bien être des sujets sur une période limitée de temps [i.e. temps de l'expérimentation](sensibilité et spécificité de ce sous-ensemble, existence d'un seuil...) ; (ii) le passage de ce test conçu sous forme papier à une réalisation sur écran d'ordinateur (le test sur une dizaine de sujets antérieurement à l'analyse n'est pas suffisamment expliqué pour que l'on puisse s'assurer que ce test avait permis une bonne évaluation de cette forme d'exécution du test). En effet, le fait que sur un petit nombre d'exemples, il n'ait pas été observé de différence significative ne constitue pas en soi une validation du test sur écran.

De manière prévisible, on observe une différence significative entre les groupes A et B liée à la différence de structure des groupes. On observe également une différence significative entre le placebo et l'exposition UMTS dans les deux groupes, mais uniquement pour la sommation des scores. En ce qui concerne les scores propres à chaque type de manifestation, les résultats divergent, avec un effet sur les signes somatiques d'hostilité et d'anxiété uniquement dans le groupe A, le sentiment d'infériorité est significativement modifié dans les deux groupes, et les signes de dépression dans aucun des deux. Ce test conduit à un résultat significatif uniquement si l'on compare l'aspect extraversion entre les deux groupes A et B, ce qui bien entendu n'a aucun sens puisque la structure de ces deux groupes est très différente, de même que leur mode de recrutement (forte majorité de femmes dans le groupe A, forte majorité d'homme dans le groupe B). Un tel résultat était plus que prévisible et ne permet en aucun cas d'affirmer, comme l'ont fait certains un peu rapidement, que l'on démontre ainsi l'existence d'une différence entre certaines personnes « hypersensibles » et les autres. Les auteurs soulignent d'ailleurs eux même que l'on ne peut faire aucune comparaison utile entre les deux groupes.

De plus, il aurait été important de pouvoir disposer également des règles de suppression des valeurs aberrantes.

Enfin, dans le premier rapport, les auteurs ne présentent que de simples analyses deux à deux, à l'aide de tests non paramétriques, ce qui équivaut à ne pas prendre en compte le plan d'expérience (les tests sont considérés dans cette procédure comme indépendants, ce qui n'est pas le cas) ; ce n'est que dans un second temps, qu'un traitement statistique approfondi (analyse statistique de variance par ANOVA sur le modèle général pour évaluer toutes les combinaisons, et MANOVA a permis de prendre en compte les facteurs « âge » et « sexe » qui rentrent en ligne de compte dans les résultats des tests psychomoteurs (rappelons que ces deux éléments n'étaient pas répartis de la même façon dans le groupe A et le groupe B, or ils jouent de façon importante dans les réponses aux tests). Suite à ces dernières analyses, il reste maintenant un effet seulement pour le groupe (B), pour un test (mémoire de comparaison) et un signal (UMTS). Ce type de test est en principe moins subjectif que l'évaluation du bien-être mais l'effet paraît "mince".

Il aurait été souhaitable que les résultats soient présentés non seulement avec la valeur p du test statistique mais aussi avec l'écart-type ou l'intervalle de confiance.

6.2.4 Conclusions sur l'étude TNO

L'analyse de la méthodologie de l'étude et de ces résultats montre bien qu'il convient, si l'on veut échapper à la critique et obtenir des résultats exploitables, d'approfondir la conception d'une telle étude en maîtrisant les différents stades de l'expérimentation.

Dans l'attente des résultats de l'étude de réplication Suisse⁴¹ et de l'étude anglaise de Elaine Fox qui va démarrer,⁴² le groupe d'experts estime qu'il n'est pas souhaitable de faire d'autres études de réplication de ce type en France.

6.3 Etudes animales

Toutes les études animales citées plus haut qui ont été réalisées avec une exposition corps-entier sont a priori pertinentes pour l'évaluation des effets sanitaires dues aux expositions par les stations de base, même si les niveaux de DAS utilisés dans toutes ces études sont environ 10000 fois plus élevés que les niveaux environnementaux. Il en est de même pour les études in vitro.

6.4 Étude sociologique du CSO

Une étude sociologique intéressante a été réalisée par le Centre de Sociologie des Organisations (CSO) sur un contrat de recherche avec les opérateurs téléphoniques sur le thème des « controverses et mobilisations autour des antennes relais de téléphonie mobile ». Après un premier chapitre où les auteurs analysent les différentes scènes d'acteurs concernés par le développement de la téléphonie mobile (constructeurs, les organismes internationaux, dont l'OMS, les structures réglementaires françaises, les opérateurs et leur logique de déploiement de réseaux, les riverains), les auteurs analysent de façon plus spécifique comment s'est constitué l'affrontement entre deux logiques opposées (d'une part, pouvoirs publics, experts et opérateurs, qui tendent à estimer, selon les auteurs, « que le risque lié aux mobiles est faible, celui d'un risque lié aux antennes étant considéré comme nul », d'autre part les associations, mobilisations publiques diverses soutenues par des contre-experts qui estiment que « les mobiles, comme les antennes, représentent un risque pour la santé »). Enfin en dernière partie, les

41 www.mobile-research.ethz.ch/english/projekte_e.htm#18

42 Université du Sussex : www.mthr.org.uk/research_projects/hypersensitivitysymptoms.htm

chercheurs montrent que ces deux groupes ont adopté des stratégies parallèles qui vont jusqu'au mimétisme pour faire passer leur point de vue.

Dans leurs conclusions, les auteurs rappellent les questions qu'ils s'étaient posées en préalable de l'étude sur le pourquoi d'une réaction si tardive face au déploiement des antennes, pourquoi si virulente, et pourquoi est-elle focalisée sur les antennes alors que le doute est sur les terminaux. A la suite de leur travail, ils avancent plusieurs éléments :

- le mouvement est de nature réactionnelle suite à une perturbation dans un environnement territorial où vivent des populations. Le manque de compréhension des pouvoirs publics ou des industriels face à l'intrusion d'une antenne, qui est banale et bénigne pour ces derniers, engendre un sentiment de non reconnaissance et une impression de mépris. Ce mouvement gagne alors en autonomie, et « demeure consubstantiel à l'existence des interrogations restées sans réponse ». Dans ce contexte, « la virulence et l'hostilité deviennent alors les ferments du dynamisme du mouvement » : « il est insupportable de constater qu'un lieu de vie,... la santé, dépendent d'acteurs qui ne se comportent pas, en apparence, en acteurs responsables ».

- la difficulté, à ce stade de réponse (trop tardive) des pouvoirs publics, tient au fait que le mouvement est de « nature décentralisée et protéiforme, continuellement changeante », beaucoup plus performant que les structures lourdes et hiérarchisées de l'Etat.

En somme, c'est le trouble de voisinage combiné à la non acceptation du débat par ceux chargés de réguler l'espace civil, qui « étayent le fondement de la mobilisation et non directement les effets potentiels ou réels des ondes émises par les terminaux ou les antennes ». Le mouvement est, au fond, largement indépendant de la téléphonie elle-même, mais son objet concerne des considérations liées au cadre de vie. Cette carence se poursuit tant que n'est pas initié un processus de concertation. A ce titre, les chartes locales constituent les conditions et les règles pour sortir de l'affrontement. « Leur multiplication traduit une progressive prise de conscience par les élus locaux de la nécessité de s'engager dans une démarche politique ». Enfin les auteurs insistent sur le fait que « à défaut d'un contexte permettant l'apprentissage de données objectives, il n'est pas envisageable de passer d'une situation où la perception prime, à une situation dans laquelle une opération cognitive et politique permettrait même pour le profane d'évaluer le risque », la seule perception étant particulièrement élevée tant que n'interviennent que des mécanismes d'incertitude et d'anxiété restés sans réponse et se renforçant chaque fois qu'un mouvement aboutit à un démontage d'antenne. Une action dure qui obtient ainsi gain de cause permet aux acteurs de se donner les « moyens de se voir reconnaître une identité élective ».

Ces conclusions sont intéressantes, d'autant qu'elles rejoignent des observations déjà faites lors d'autres conflits environnementaux (notamment sur les déchets).

Le préambule du rapport mérite que l'on s'y attarde aussi dans la mesure où les sociologues soulignent la difficulté (et même l'impossibilité) qui a été la leur de rencontrer certains acteurs. Ils soulignent la mise en cause par ces derniers de leur recherche dans la mesure où cette étude était réalisée à la demande des opérateurs (qui en assuraient le financement). Il est à noter que cette suspicion, non légitime dans la majorité des cas, risque de s'amplifier dans les années à venir dans la mesure où la recherche va être amenée à s'adresser de plus en plus à des financeurs non publics, les financements publics devenant de plus en plus rares et difficiles à obtenir. Cet aspect qui est un des éléments du travail de réflexion que

mène actuellement la communauté des chercheurs devrait être porté à la connaissance et débattu au niveau de la société civile française afin que quelque soient les choix politiques faits en termes de recherche, les conditions de financement soient régies par des règles explicites et transparentes et qu'ainsi les travaux des chercheurs ne soient pas systématiquement suspectés de complaisance avec l'industrie.

6.5 Conclusions sur les stations de base

En ce qui concerne les relations entre exposition aux stations de base et des effets sur la santé, en l'absence d'études rigoureuses au niveau méthodologique, il n'y a pas de nouveaux éléments scientifiques pour affirmer l'existence d'une telle relation. Aucun nouvel élément ne justifie donc une quelconque remise en question de l'avis émis dans le rapport antérieur.

7 EFFETS BIOLOGIQUES DES NOUVEAUX SIGNAUX

7.1 UMTS

À la suite des nombreuses études effectuées avec des signaux de type GSM et du déploiement actuel de l'UMTS, des questions sont justement posées sur la spécificité des effets sanitaires éventuels en fonction de la nature du signal. La question de l'extrapolation des résultats GSM à l'UMTS a été évoquée ou discutée lors de nombreux congrès.

Les différences entre les deux types de signaux ont été présentées plus haut.

Au niveau de la fréquence porteuse, il est certain que la profondeur de pénétration des champs va diminuer quand la fréquence passera de 900 à 1800 MHz (GSM) puis à 2000 MHz (UMTS). C'est le seul paramètre qui devrait avoir une influence, en particulier sur les absorptions relatives des différents tissus (peau, cerveau, etc.), mais aucune influence particulière de la fréquence n'est envisagée puisqu'on se trouve toujours dans la bande de l'absorption de l'eau qui a son maximum autour de 18 GHz.

La puissance maximale des terminaux UMTS sera très proche de celle des GSM-1800 et le DAS dans la tête sera similaire. En revanche, le contrôle de puissance étant bien plus efficace dans le cas de l'UMTS, le DAS effectif sera probablement largement inférieur au GSM.

Enfin, le signal UMTS est a priori moins récurrent que le GSM, qui est découpé à 217 Hz et, si la « modulation » devait être cause d'effets biologique ou sanitaire, l'UMTS serait, de ce point de vue, un « meilleur » signal. Néanmoins, il faut rappeler qu'il n'existe pas à ce jour de preuve que la modulation basse fréquence soit source d'effets biologiques.

7.2 WiFi

En parallèle avec les systèmes de téléphone mobile, se sont développés les réseaux locaux sans fil. En particulier, les protocoles rassemblés sous le nom de WiFi ont connu très récemment un essor très important grâce à l'installation de « hotspots » dans des endroits publics où Internet devient accessible à partir d'un ordinateur portable muni d'une carte radio. Il s'agit donc de réseaux locaux constitués d'une base centrale reliée au réseau et d'utilisateurs placés dans un rayon de 100 mètres environ. La fréquence porteuse est actuellement de 2450 MHz et la puissance de 100 mW environ.

L'exposition au WiFi est toujours en champ lointain (au moins 50 cm) et la puissance d'émission est faible. La comparaison avec les limites publiées montre que les niveaux habituels restent très inférieurs aux valeurs limites. Des mesures effectuées dans des environnements réels, y compris avec de nombreuses sources placées dans une même salle l'ont confirmé.

Cette fréquence porteuse actuelle est celle qui a été utilisée dans la plupart des études précédant la téléphonie mobile. Des connaissances étendues existent donc sur les effets biologiques d'expositions à cette fréquence. Les résultats obtenus à faible niveau ont été globalement négatifs, et il est peu probable que les conditions d'utilisation du WiFi soient sources de problèmes spécifiques (à cause des durées et niveaux d'exposition).

8 AUTRES EFFETS

8.1 Usage du téléphone mobile et changements sociaux

Un important ouvrage français (*F. Jauréguiberry 2003*) a été publié sur la sociologie des usages du téléphone mobile, dont nous retiendront quelques éléments :

Le mobile renvoie au besoin d'être rassuré en permanence (Cocooning téléphonique » et son corollaire qui est le stress généré quand l'autre est injoignable), d'où ce que l'auteur appelle une « téléphonite » qui est une attitude compulsive. Le mobile permet de se relier à ses réseaux sociaux. Derrière l'emploi du mobile, se dissimule le désir de modeler le temps, alors que pour l'auteur cette prise sur le temps génère des effets pervers : « l'urgence généralisée » qui obligeant les sujets à prendre des décisions sur le champ les contraint en fait à les reporter plutôt qu'à anticiper. Cependant des logiques de préservation apparaissent lorsque le sujet se déconnecte pour s'octroyer des périodes d'indisponibilité. L'auteur évoque alors la trilogie : Zapper (aller rapidement d'une information à l'autre), filtrer (s'octroyer un temps d'indisponibilité pour souffler), préserver (cantonner le mobile au strict minimum pour retrouver l'authenticité d'une relation dans le face à face).

Le mobile permet au « branché » d'être ailleurs et de le faire savoir (ou voir) : appeler et discuter dans un lieu public n'est pas neutre : le mobile rompt la « civilité ». Dans un lieu fonctionnel, le branché sera inaperçu, alors que dans un lieu à forte urbanité, il sera perçu comme un intrus (restaurant, cinéma,...)

Enfin, le mobile crée en milieu professionnel une nouvelle inégalité (souffrance au travail) et entraîne une recrudescence du contrôle au détriment de l'autonomie (commerciaux) : amoncellement des problèmes sur les cadres entraînant une pression accrue sur les cadres « fusibles ».

D'autres auteurs ont étudié spécifiquement les relations que les adolescents entretiennent avec leurs mobiles (*Wilska, 2003 ; Davie, 2004*). La liberté acquise par les adolescents avec le mobile est l'élément qui ressort le plus : contrôle complet sur leurs relations : je peux appeler qui je veux, où je veux, quand je le veux, sans le contrôle des parents. Wilska reprend la même idée que l'auteur cité ci-dessus de conduite addictive vis-à-vis du mobile.

Par ailleurs, plusieurs auteurs signalent le fait qu'un pourcentage non négligeable (7 à 17 %) d'enfants reçoit (a reçu) des messages qu'il a perçu comme menaçants. Enfin, dans son étude, Davie signale que 20 % des enfants scolarisés en école primaire, utilisateurs de mobile avaient fait l'objet d'une agression pour vol du mobile.

8.2 Effets bénéfiques

Il paraît important dans le cadre de ce rapport de souligner les effets bénéfiques, en matière sanitaire, procurés par ces nouveaux systèmes radio. La réalité d'interventions plus rapides des services de sécurité lors de situations d'urgences n'est plus à rappeler. De même, nous ne ferons que citer la tranquillité d'esprit que pourrait procurer à certaines personnes... la mise à disposition de ces appareils dans des circonstances particulières.

L'usage des systèmes de communication radio est en développement dans le cadre d'application de télémédecine (*Hung, 2003 ; Keeling, 2003, Tachakra, 2003*), permettant la mise à disposition rapide des données médicales d'un patient, ou des interventions ou des premiers gestes d'urgence à distance. Ainsi, ces systèmes s'avèrent utiles pour la surveillance de patients à risque (*Kosaka, 2003 ; Durso, 2003*) ou la réalisation d'études épidémiologiques ou d'intervention sanitaire (*Collins, 2003 ; Wilkins, 2003 ; Lehalle, 2003 ; Vitella, 2004*). Campbell et Durigon (*2003*) ont montré l'intérêt que représentent en particulier les trois systèmes suivants (WiFi, Téléphone Mobile, Bluetooth) pour la réalisation de telles interventions ou surveillances à distance.

Restera à régler le sort de l'usage des téléphones mobiles dans les hôpitaux où ils peuvent être à la fois très utiles pour les personnels, les patients et leurs familles et en même temps sources potentielles d'interférence avec les appareils médicaux (Omer, 2003).

9 REGLEMENTATION ET MISE EN ŒUVRE

La réglementation française visant à limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques est conforme au cadre communautaire notamment à la recommandation européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 et à la directive 1999/05/CE du 9 mars 1999 dite « R&TTE ». Elle couvre à la fois les équipements terminaux radioélectriques et les stations radioélectriques.

Les valeurs limites que ne doivent pas dépasser les champs électromagnétiques émis par les stations radioélectriques et les équipements terminaux radioélectriques résultent respectivement du décret n°2002-775 du 3 mai 2002 et de l'arrêté du 8 octobre 2003 fixant les spécifications techniques applicables aux équipements terminaux radioélectriques. La circulaire du 16 octobre 2001 qui définit notamment le périmètre de sécurité autour des antennes relais de radiotéléphonie mobile, devrait prochainement être complétée s'agissant des autres catégories de stations radioélectriques.

Le respect des valeurs limites est vérifié par l'Agence Nationale des Fréquences lors de la délivrance de l'accord pour l'implantation des stations radioélectriques soumises à la procédure COMSIS prévue par les articles L 43 et R 52-2-1 5° du code des postes et des communications électroniques.

Par ailleurs, l'article L 34-9-1 alinéa 2 du même code (loi 2004-669 du 9 juillet 2004) prévoit que le respect des valeurs limites peut être vérifié sur site par des organismes qualifiés en appliquant le protocole de mesure établi par l'ANFR dont les références ont été publiées au *Journal Officiel* par un arrêté du 3 novembre 2003. Ces organismes devront à terme (texte réglementaire non encore publié) répondre à des critères de qualité définis par décret notamment avoir été accrédités à cet effet par le *Comité français d'accréditation* (Cofrac) ou par un organisme européen équivalent, afin de garantir la fiabilité des mesures de champs électromagnétiques effectuées. Le texte correspondant est en cours d'élaboration, cependant certains organismes de contrôle technique ont déjà engagé les démarches

nécessaires à l'accréditation. Le fait de ne pas respecter les valeurs limites constitue une infraction pénale punie de la peine d'amende prévue pour les contraventions de la cinquième classe conformément à l'article R 20-25 du code.

La loi n°2004-806 du 9 août 2004 crée dans le code de la santé publique et dans le code des postes et des communications électroniques des dispositions complétant le dispositif législatif relatif à la protection du public contre l'exposition aux champs électromagnétiques afin de favoriser une concertation plus large des intéressés. L'article 1333-21 du code de la santé publique prévoit ainsi que le préfet peut prescrire des mesures de champs électromagnétiques à la charge des opérateurs dans des conditions définies par arrêté interministériel (cet arrêté n'est pas encore signé). L'article L 96-1 du code des postes et des communications électroniques prévoit que les maires peuvent demander aux exploitants des stations radioélectriques un état des lieux des installations radioélectriques présentes sur leur commune. Le contenu et les modalités de transmission de ce dossier seront précisés dans un autre arrêté interministériel. Les textes précisant les modalités d'application de ces dispositions nouvelles doivent encore être publiés.

10 ACTIVITE INTERNATIONALE

10.1 OMS

Le programme international « EMF » de l'OMS existe depuis 1996. Son site Internet décrit en détail toutes ses activités.⁴³ Chaque année, sont organisées des réunions des trois structures de soutien (IAC : international advisory committee ; RRC : research coordination committee et standard harmonisation committee) National Reports

Les activités majeures de la cellule « champs électromagnétiques » de l'OMS qui met en œuvre le programme EMF, sont d'aider à la co-ordination de la recherche (cf programme de recherche en annexe), à l'harmonisation des limites d'exposition et à la communication du risque. Ces rôles sont tenus en étroite collaboration avec d'autres organisations telles que l'ICNIRP, EMF-NET, etc.

10.2 Programmes européens

10.2.1 Perform A B C

Dans le cadre du programme de recherche Perform A, trois études majeures ont été réalisées : 1) deux études de type « bioassays » à long terme chez le rat et la souris exposés aux signaux de la téléphone mobile, 2) une réplique de l'étude de Repacholi de 1997 montrant une augmentation de lymphomes chez des souris transgéniques et 3) une étude sur l'incidence des tumeurs mammaires chimio-induites chez le rat exposé au signal GSM 1800.

Ces trois études, menées respectivement en Allemagne, Italie et Autriche, ont été financées en partie dans le cadre du 5^{ème} PCRD. Elles sont maintenant terminées et en phase finale d'analyse histologique et statistique. Les résultats complets seront connus dans quelques mois.

43 www.who.int/peh-emf/fr/index.html

Le programme européen Perform B vient de se terminer après deux ans et demi de recherche sur « des études de répliation *in vitro* et *in vivo* en rapport avec la téléphonie mobile et la santé ». Le laboratoire PIOM à Bordeaux assurait la co-ordination de ce programme. Deux laboratoires travaillaient en parallèle sur chacun des trois sujets traités (génotoxicité, activité de l'ODC⁴⁴ et mémoire du rongeur). Plusieurs systèmes d'exposition ont été construits ou adaptés pour ces études.

À partir des résultats de Maes en Belgique, des études ont été menées sur l'action des champs RF associés aux rayons X ionisants. Plusieurs tests de génotoxicité *in vitro* ont été utilisés et l'exposition était réalisée à l'aide de signaux GSM 900 (1 et 2 W/kg) et 1800 (1 W/kg). Aucun effet génotoxique n'a été observé.

À la suite des travaux du groupe de Litovitz sur l'activité de l'ODC dans des cellules L929, des travaux effectués avec différents signaux RF et sur plusieurs types de cellules n'ont pas permis de confirmer les résultats de Litovitz. L'activité de l'ODC n'était pas altérée par l'exposition.

Le groupe de Lai aux USA avait publié des résultats montrant une altération de l'apprentissage de rats exposés à des signaux RF pulsés. Les études menées dans le cadre de Perform B sur des rats et des souris soumis aux mêmes signaux ainsi qu'à ceux de la téléphonie mobile se sont révélés négatifs.

Le programme Perform C, portant sur plusieurs paramètres physiologiques (sommeil, fonctions cognitives, symptômes, etc.), est en cours de réalisation sur des volontaires à l'Institut Karolinska de Stockholm.

10.2.2 GUARD “Potential adverse effects of GSM cellular phones on hearing”

Ce programme, qui s'est terminé fin 2004, avait pour but d'évaluer les effets spécifiques sur l'audition, chez l'homme et l'animal, des RF de faible intensité produites par les téléphones mobiles aux fréquences 900 et 1800 MHz. Neuf équipes de 7 pays Européens participent à ce projet, 2 équipes sur les travaux chez l'animal, les autres équipes travaillant en commun chez l'homme.

Chez l'homme : Une étude préalable a permis de définir le nombre minimum de sujets nécessaire pour pouvoir observer une effet significatif, pour des études intra-sujet (phase I) et inter-sujets (Phase II).

Une autre étude a défini les paramètres d'exposition des sujets.

Dans la phase I les effets aigus sur l'audition d'une exposition de courte durée (10 minutes) au niveau maximum (2 W crête à 900 MHz et 1 W crête à 1800 MHz) ont été recherchés sur un total de 500 sujets normaux. À ce stade, aucun effet n'a pu être démontré.

Dans la phase II, deux groupes de sujets : utilisateurs intensifs ou occasionnels des téléphones mobiles sont comparés. Les données sont en cours d'analyse.

Chez l'animal : Des expériences chez des rats exposés ou pseudo-exposés à 900 ou 1800 MHz, (2 W/kg, , 2 h/j, 5 j/s, 4 semaines), n'ont pas montré d'effets sur la fonction de l'oreille interne (oto-émissions acoustiques).

Une série d'expérimentations a abordé le problème d'une possible potentialisation des effets pathogènes de certains agents (ototoxiques) sur l'oreille interne lors d'une exposition simultanée aux ondes GSM.

44 Ornithine décarboxylase

Ainsi chez le cobaye on a étudié les effets d'une exposition semi-chronique (2 h/j, 5 j/s, pendant 2 à 4 semaines, à 900 MHz, 2 et 4 W/kg - antenne boucle) chez des animaux contrôle (pseudo-exposés aux GSM), et des exposés ou pseudo-exposés aux GSM et simultanément soumis à des injections de gentamicine aux doses de 60 et 75 mg/kg. Si les effets, liminaires, de la gentamicine sont observés (pertes auditives légères sur les hautes fréquences, diminution du contrôle efférent olivo-cochléaire), on n'observe pas de différence entre les animaux exposés et pseudo-exposés.

Des expériences similaires sont en cours chez le rat.

Des recherches in-vitro étudient les effets d'une exposition aux GSM (2 W/kg, 24 h) sur le développement en culture de l'organe de Corti de rats nouveau-nés avec et sans la présence de gentamicine à différentes concentrations. Ici aussi on observe les effets bien connus de la gentamicine, mais aucune différence entre les cultures exposées ou pseudo-exposées.

10.2.3 INTERPHONE

L'étude Internationale sur les risques de tumeurs de la tête en relation avec l'exposition au téléphone mobile est en cours d'analyse. Les premiers résultats de l'étude englobant la totalité des pays participant devraient paraître au cours de l'année 2005. Des publications rattachées à ce programme sont déjà parues et ont été analysées ci-dessus. Rappelons les points forts de cette étude : puissance statistique effective du fait du nombre de sujets ayant participé à l'étude, caractérisation de l'exposition au niveau des différents tissus de la tête (prise en compte des caractéristiques des appareils et réseaux), prise en compte des autres sources de rayonnements. Par contre, il ne sera pas possible de conclure à partir de cette étude sur le risque spécifique qui pourrait être celui des enfants. De même, il pourrait y avoir un certain manque de recul dans le temps, ce qui ne permettra pas de conclure si le délai de latence d'un possible effet est plus élevé que celui étudié.

10.2.4 REFLEX⁴⁵

La coordination de ce programme Européen a été réalisée par la Fondation Verum à Munich. Douze laboratoires étaient impliqués dans cette étude multicentrique sur les effets des champs RF et extrêmement basse fréquence sur des systèmes cellulaires (*in vitro*). Ce résumé ne concerne donc que les résultats liés aux champs RF.

Une partie des résultats issus du programme Reflex a fait l'objet de publications qui sont présentées dans ce rapport (voir chapitre 5.3.2) ou l'ont été dans le précédent. En Allemagne, *Czyz et coll. (2004)* ont montré que des signaux de type GSM-1800 régulaient négativement l'expression de gènes de différenciation neuronale dans des cellules souches précurseurs, tandis qu'ils régulaient positivement celle de gènes de réponse précoce. Cet effet a été observé spécifiquement dans des cellules souches embryonnaires déficientes pour le gène p53, mais pas dans des cellules présentant un gène p53 normal. Le groupe de Leszczynski en Finlande (*Leszczynski et coll., 2002⁴⁶, 2004; Nylund et coll. 2004*) a montré par analyse protéomique que des lignées de cellules endothéliales humaines exposées à un signal de type GSM-900 présentaient un profil d'expression et de phosphorylation protéiques modifiés, pour des protéines encore majoritairement non identifiées, à l'exception cependant d'HSP27. *Capri et coll. (2004)* n'ont détecté aucun effet sur l'apoptose et l'expression d'HSP70 dans les cellules du sang de donneurs jeunes ou âgés.

45 Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field (EMF) Exposure Using Sensitive in vitro Methods

46 Leszczynski D., Joenväärä S., Reivinen J., Kuokka, R., Differentiation, 2002, 70, 120–129.

Les autres résultats de Reflex ont montré des effets génotoxiques dans différents types de cellules, notamment des fibroblastes humains, les cellules de la granulosa et les cellules HL60. Ces cellules répondaient aux expositions RF entre 0,3 et 2 W/kg avec une augmentation significative des cassures simples et doubles brins de l'ADN et de la fréquence de micronoyaux (résultats non publiés). On peut s'étonner que des effets des RF ne soient observables que dans une étroite fourchette de DAS. De plus, les résultats sur les dommages de l'ADN sont en contradiction avec les données les plus récentes (voir chapitre 5.3.2 et les rapports des programmes européens Perform B et Cemfec).

Par ailleurs, aucun effet n'a pu être détecté sur différents autres paramètres, en particulier l'apoptose et la prolifération cellulaires.

En conclusion, s'il pourra apparaître opportun de réaliser des recherches animales en liaison avec les résultats de Reflex sur l'expression des HSP, des études de confirmation des résultats « positifs » de génotoxicité sont indispensables pour leur validation.

10.2.5 CEMFEC

Dans le cadre du programme CEMFEC (5^{ème} PCRD), coordonné par l'Université de Kuopio, les effets co-cancérogènes des signaux GSM-900 à faible dose ont été étudié sur l'animal (rats Wistar). Le cancérogène utilisé pour induire des cancers était le mutagène MX introduit dans l'eau de boisson. Les animaux étaient exposés à 0,3 ou 0,9 W/kg, deux heures par jour, cinq jours par semaine. À la fin des deux ans, des échantillons de tissus ont été prélevés et examinés en histopathologie. À 3, 6 et 24 mois, des échantillons de sang ont été prélevés pour des tests de génotoxicité. Du tissu cérébral et du tissu hépatique ont été prélevés à la fin de l'expérience dans le même but.

Par ailleurs, des études in vitro utilisant deux lignées cellulaires ont été menées. En complément du MX, un autre cancérogène, le fongicide Vinclozolin, a été testé en combinaison avec une exposition aux RF sur les lignées cellulaires de mammifères NIH3T3 et L929. Plusieurs tests ont été pratiqués : le stress oxydatif, la prolifération cellulaire, l'analyse du cycle cellulaire, l'apoptose, les modifications des potentiels de membrane mitochondriale, et l'expression de gènes (proto-oncogènes c-fos, c-jun et c-myc). Les niveaux de DAS étaient similaires à ceux utilisés pour les tests animaux (0,3 et 1 W/kg).

Les résultats des expérimentations animales ont confirmé l'effet cancérogène du MX mais les RF n'augmentent pas de façon significative l'incidence des tumeurs. Les expositions aux RF n'induisent pas non plus d'effet génotoxique au niveau des cellules sanguines, hépatiques ou cérébrales. Les RF ne produisent pas d'effet sur l'ADN des cellules du foie ou du cerveau.

Les expérimentations in vitro ne montre aucun effet sur le stress oxydatif, l'apoptose, le potentiel des membranes mitochondriales ou l'expression d'oncogènes. Toutefois, les RF seules ou en combinaison avec une exposition chimique diminuent la croissance cellulaire. Cet effet n'apparaît qu'après 24 h d'exposition).

Les auteurs ont conclu que, dans l'état actuel de compréhension des mécanismes de cancérogenèse, l'existence d'un effet "protecteur" contre les dommages de l'ADN et la légère diminution de la prolifération cellulaire des cellules exposées suggèreraient plutôt une réduction qu'un accroissement du risque de cancer.

Le fait que des niveaux de DAS supérieur à 1 W/kg n'aient pas été utilisés limite le projet. Toutefois, l'utilisation de niveaux plus élevés de DAS aurait induit des effets thermiques qui auraient posé des problèmes d'interprétation des résultats.

En conclusion, les résultats de l'étude CEMFEC doivent être interprétés à la lumière des résultats des autres études terminées ou en cours qui ont mis en œuvre d'autres modèles expérimentaux et des niveaux d'exposition différents.

10.3 National Toxicology Program (US)

Un nouvel appel d'offre du NTP est paru : il s'agit de réaliser une étude de grande ampleur sur l'animal suivant le protocole normalisé du NTP (rats et souris, mâles et femelles, nombre d'animaux par groupe, etc.). La réponse à cet appel est venue de biologistes aux USA et d'ingénieurs en Suisse pour un coût total d'une vingtaine de M\$ et une durée de cinq ans. Plusieurs signaux de la téléphonie mobile seront utilisés. Les animaux seront libres de leurs mouvements et exposés pendant la majeure partie de la journée. Les résultats de ce projet de recherche majeur, s'il démarre, ne seront donc pas disponibles pour les évaluations du CIRC et de l'ICNIRP.

10.4 Japon

Le Ministère japonais du Travail et de la Santé a entrepris des recherches sur les effets possibles des champs électromagnétiques ELF et RF. Les études concernant le public sont dirigées par l'Institut National de Santé Publique et celles sur les travailleurs par la l'Association de Sécurité et Santé Industrielles. Le Ministère des Postes et Télécommunications (MPHPT) a établi, en 1998, un comité chargé de superviser les recherches sur les effets sanitaires de RF. Le deuxième terme de ce Comité s'étend jusqu'à 2007. Le budget moyen annuel de recherche est de 3 M€.

L'association des industriels des télécommunications (ARIB) et l'opérateur NTT DoCommo sont également impliqués dans la recherche.

10.5 Corée

En 2000, le Ministère de l'Information et de la Communication (MIC) a lancé un programme de recherche de cinq ans sur les champs électromagnétiques, et c'est donc actuellement la dernière année d'activité. Le budget global s'élève à 8 M€ environ.

La planification d'une deuxième phase du programme est en cours.

Les études épidémiologiques incluent les cas de cancer autour des émetteurs onde-moyenne et la participation à l'étude Interphone.

Une étude à grande échelle sur des volontaires est en cours sur les effets des téléphones mobiles sur certaines fonctions cérébrales et autres fonctions physiologiques (2002-2005). Des études animales et cellulaires sont également engagées ainsi que des projets portant sur la conception des systèmes d'exposition.

Un site Internet d'information existe pour informer le public sur les recherches et la gestion du risque (www.emf.or.kr).

10.6 Australie

En 1996, en réponse aux craintes exprimées dans le public face aux risques sanitaires éventuels de la téléphonie mobile, le gouvernement fédéral australien a alloué 3.4 millions de dollars australiens (environ 2 M€) à l'Agence de la Santé Nationale et de recherche Médicale (NHMRC)⁴⁷ pour financer un programme de recherche sur les RF. Quatre projets ont été subventionnés au sein de ce programme entre 1997 et 2000, incluant des études chez l'homme et l'animal. La recherche sur les volontaires et des populations a porté sur l'augmentation du risque de tumeurs du cerveau et la mémoire, tandis que la recherche fondamentale a visé à déterminer si les champs électromagnétiques produisent des cancers chez la souris. Une dotation supplémentaire de 300 k€ a été allouée pour la période 2001-2003, pour financer deux projets sur les réponses physiologiques humaines à l'exposition au rayonnement des téléphones mobiles et les effets de l'exposition à long terme sur la vision et l'audition. Une recommandation de subvention de plus de 300 k€ par an a été approuvée pour les cinq ans à venir par le Ministère de la Santé en juin 2003. Pour mener cette recherche, la création d'un Centre d'Excellence de Recherche dans l'Energie Electromagnétique a été approuvée.

10.7 Programmes nationaux en Europe

10.7.1 France

10.7.1.1 ACI

À la suite du programme COMOBIO, des demandes ont été faites pour que l'effort de recherche français sur les effets sanitaires de la téléphonie mobile continue. En 2004, une ACI a démarré sur ce thème avec un financement du Ministère de la Recherche de 500 k€ sur trois ans abondé par les opérateurs de téléphone mobile pour le financement des salaires (300 k€). Sept projets ont été sélectionnés (tableau ci-dessous).

René De Seze	INERIS, Verneuil-en- Halatte	Effets des champs radiofréquences sur les neurotransmetteurs et récepteurs du système nerveux central chez le rat
Thérèse Jay	Université, Paris	Effets potentiels des signaux GSM et UMTS sur le tissu cérébral : étude des protéines de choc thermiques et des réactions inflammatoires
Isabelle Lagroye	CNRS/EPHE, Pessac	Etude des effets de signaux de la téléphonie mobile sur le système nerveux central : protéines de stress, inflammation, génotoxicité
Gérard Ledoigt	Université Aubière	Effet des rayonnements électromagnétiques haute fréquence non ionisants (RNI) sur les organismes vivants
Lluis Mir	IGR, Villejuif	Analyse des modifications de l'endocytose des cellules en culture provoquée par l'exposition in vitro des cellules à des champs électromagnétiques pulsés
Tabony James	CRSSA, Grenoble	Etude du déclenchement de l'auto-organisation des microtubules par des champs électromagnétiques de faible intensité, à 1800 GHz
Justin Teissié	CNRS, Toulouse	Destabilisation de l'interface membrane cellulaire-solution par les ondes électromagnétiques associés à la téléphonie mobile

47 National Health and Medical research Council

10.7.1.2 Plan national santé environnement

Un Plan National Santé Environnement a été défini pour la période allant de 2004 à 2008. Les objectifs de ce plan sont de :

- garantir un air et une eau de bonne qualité
- prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers
- mieux informer le public et protéger les populations sensibles (enfants et femmes enceintes).

Le Plan s'inscrit dans une démarche initiée depuis quelques années visant à améliorer le dispositif d'évaluation et de gestion des risques, notamment en renforçant les moyens, la qualité et l'indépendance de l'expertise dans le domaine santé environnement (par la création d'agences spécialisées entre autres, l'Afsse). Un certain nombre d'« Actions » a été défini : on retiendra notamment les Actions concernant la mobilisation et le développement du potentiel de recherche dans le domaine (Actions 30, 31, 32, 33, 34). Le domaine des champs électromagnétiques n'est pas particulièrement évoqué dans ce plan : il est seulement évoqué dans le cadre du plan « téléphonie mobile » annoncé le 17 décembre 2003. Pour mémoire, ce plan comportait trois volets : (i) développement des recherches et mise en place d'une veille technologique et de suivi des populations se sentant affectés par ces champs électromagnétiques, (ii) renforcement de la réglementation, (iii) garantie de la transparence de l'information.

10.7.2 Suisse

En Suisse, l'essentiel des recherches est coordonné par la « Fondation de Recherche Suisse sur la Communication Mobile », fondation à but non lucratif créée en 2002 par trois opérateurs Suisses et l'Institut Polytechnique de Zurich. L'évaluation des projets et les décisions de soutien sont mises en oeuvre par un comité scientifique indépendant. Le budget annuel consacré à la recherche est de 350 k€ environ. Les projets se partagent entre la recherche fondamentale (études in vitro et in vivo, dosimétrie et études humaines), la perception et la communication du risque. Des dix-huit projets subventionnés jusqu'à ce jour, sept se sont terminés en 2003, et sept en 2004. Des quatre projets en cours (tous en recherche fondamentale), trois se termineront en 2005, y compris la réplique de l'étude hollandaise « TNO ».

10.7.3 Grande Bretagne

Le programme de recherche britannique MTHR⁴⁸ « Télécommunications Mobiles et Santé a été lancé en 2001, avec au départ 15 projets de recherche. En janvier 2004, deux nouveaux projets ont été approuvés : une étude sur volontaires pour examiner si les émissions des stations de base induisent des symptômes et une étude sur la perception du risque associé aux téléphones mobiles et stations de base. En novembre 2004, de nouveaux projets se sont ajoutés : évaluation d'un exposimètre individuel en vue de son utilisation en épidémiologie, et étude expérimentale du rôle de la modulation ELF des signaux. Plusieurs projets réalisés dans le cadre du MTHR sont maintenant terminés : influence des kits mains-libres sur la conduite automobile, interaction des signaux TETRA avec la tête, mesure de l'émission ELF par les téléphones mobiles et faisabilité d'une étude de cohorte en rapport avec les cancers du cerveau et les maladies neuro-dégénératives.

48 Mobile Telecommunications and Health Research Programme

10.7.4 Danemark

Un programme national de recherche sur les effets sanitaires des RF a été lancé en 2004. Cinq projets ont été déjà subventionnés par le gouvernement danois pour un total d'environ 2 M€. Un financement supplémentaire devrait être obtenu en 2005. La recherche épidémiologique inclut la définition de la cohorte danoise pour une étude internationale promue par l'OMS, la participation à une analyse combinée au sein des pays nordiques du risque de tumeur du cerveau, et le suivi de l'étude danoise déjà réalisée sur les tumeurs du cerveau. Les autres études incluent : une tentative de réplification de l'étude « TNO », les effets sur le métabolisme du cerveau par tomographie d'émission de positrons (PET) ; les effets sur la qualité du sperme et des hormones reproductrices chez de jeunes utilisateurs de téléphones mobiles ; l'action combinée du champ géomagnétique et des RF sur les réactions biochimiques suivant l'hypothèse mécanistique des paires de radicaux.

10.7.5 Allemagne

Durant les dernières années, 8,5 M€ ont été dépensés en Allemagne dans des programmes de recherche sur les effets éventuels liés à la téléphonie mobile (épidémiologie et études de laboratoire, www.emf-forschungsprogramm.de). Le programme actuel a été lancé en 2002 par le Ministère de l'environnement, de la nature et de la sécurité nucléaire. Il est financé par les ministères et les opérateurs à hauteur de 17 M€ et se terminera en 2006. A ce jour, 24 projets de recherche sont en cours dont la moitié en biologie. Parmi les différents thèmes traités, on trouve le rôle de la modulation des signaux, les effets sur l'ADN et le cycle cellulaire, le rôle des radicaux libres oxygénés, les modèles animaux de leucémies, la synthèse de la mélatonine, les fonctions cognitives du rat, la participation allemande à Interphone, etc.

10.7.6 Italie

Un projet national, intitulé "Protection des populations et de l'environnement contre les émissions électromagnétiques" s'est officiellement terminé en mai 2004. Le projet était financé à hauteur de 50 % par le Ministère de l'Education et de la Recherche, et 50 % par les unités de recherche participantes. Alors que le programme est clos du point de vue budgétaire, plusieurs études se poursuivent jusqu'à leur achèvement.

Une situation similaire existe avec les études financées dans le cadre de collaborations internationales, dans le cadre du 5^{ème} PCRD de l'Union Européenne. L'Italie est le seul pays participant à tous les projets qui étaient approuvés et financés par l'Union Européenne. La plupart de ces études se sont récemment terminées et les rapports et résumés des principaux résultats sont en cours de rédaction.

Aucun nouveau projet national n'est à prévoir dans le futur proche. En effet, contrairement à ce qui s'est passé lors du 5^{ème} PCRD, les champs électromagnétiques ne sont pas considérés comme une priorité de recherche, et aucune nouvelle étude ne sera donc financée dans ce cadre. Du fait des coupes budgétaires décidées pour faire face aux difficultés économiques, une inquiétude se fait jour concernant l'implication de la recherche italienne qui pourrait se ralentir de façon substantielle dans ce domaine dans les années à venir.

10.7.7 Finlande

L'activité de recherche reste intense en Finlande. Durant la période 2000-2003, le financement annuel du programme « La Vita » était de 1,3 million Euros (70% du gouvernement et 30% de l'industrie). Dans le cadre du programme actuel (2004-2006), les sujets suivants sont abordés : fonctions cognitives, système cardio-vasculaire, activité de l'enzyme ornithine décarboxylase, dosimétrie, recherche de biomarqueurs, etc.

11 RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

Les recherches en France doivent se situer dans le cadre des recommandations faites par l'OMS .

Le programme de recherche de l'OMS représente la base des recherches à mener. En particulier, le groupe d'experts recommande de poursuivre les recherches sur les enfants, notamment en dosimétrie et en effectuant des expérimentations animales comprenant des expositions in utero.

De plus, un nouveau projet de type INTERPHONE chez les enfants est à l'étude, au Centre International de Recherche sur le Cancer. Une étude de faisabilité fera l'objet d'une demande de financement auprès de l'Union Européenne si les résultats de l'étude INTERPHONE laisse planer un doute sur les impacts cancérigènes possibles. Il serait souhaitable que la France participe à cette étude si celle-ci se met en place (sachant que la réalisation de telles études en « solitaire » se heurtera toujours aux problèmes de manque de puissance statistique, compte-tenu de la rareté des effets recherchés).

11.1 Les travailleurs

Les salariés du secteur radiofréquences (ouvriers de maintenance tels que définis par la directive travailleurs 2004/40/CE publiée le 30 avril 2004) peuvent dans certains cas être exposés de façon très importante. Le groupe d'experts demande qu'il soit fait obligation d'enregistrer régulièrement l'exposition des salariés exposés et d'établir un Registre des salariés de ce secteur en vue de la réalisation d'une étude épidémiologique si celle-ci apparaît souhaitable. Cette mesure devrait s'appliquer aussi aux salariés ne relevant pas de cette directive mais intervenant dans des lieux où se situent des antennes (couvresseurs...).

En ce qui concerne les travailleurs dont l'exposition professionnelle du fait des mobiles est importante mais qui ne sont pas reconnus comme étant travailleurs exposés au titre de la directive travailleurs 2004/40/CE, le groupe d'experts note que l'usage intensif peut entraîner des durées de communications importantes et placer les salariés dans une situation de stress du fait de la disponibilité constante dans laquelle ils sont placés (disponibilité associée parfois à des contraintes physiques particulières ou à des risques accidentels). Le groupe d'experts souhaite que cette situation fasse l'objet d'une investigation pour mesurer l'ampleur de ce phénomène (à travers l'étude SUMER ou l'enquête « conditions de travail » par exemple) afin d'envisager par la suite si nécessaire des études, voire des mesures spécifiques.

11.2 Les stations de base

Il faut répondre aux interrogations des populations, notamment en raison de l'intensification des stations, avec le développement des réseaux de 3^{ème} génération :

Le besoin d'une évaluation individuelle (dosimètre) est fortement souligné par le groupe d'experts, dans la perspective d'études de population sur les stations de base.

La participation de la France à une étude de cohorte autour des stations de base à l'échelle internationale sera justifiée si celle-ci se met en place. Les résultats de l'étude « Interphone » et la démonstration de la faisabilité de ce type d'étude , notamment en ce qui concerne une indispensable évaluation des expositions (disponibilité d'une dosimétrie correcte, et facilement réalisable à une certaine échelle) font partie des éléments qui interviendront dans la décision de réaliser une telle étude.

11.3 La dosimétrie

11.3.1 Les appareils mobiles

Les protocoles de mesure de DAS devraient prendre en compte la position de la main, qui absorbe 20 % environ de l'énergie et diminue ainsi l'énergie utile à la communication (ce qui conduit à augmenter la puissance émise pour obtenir une bonne qualité de transmission).

Des recherches doivent être réalisées pour mesurer le DAS local, lorsque les appareils sont à distance de la tête (cœur, ceinture....).

11.3.2 Les kits main libre

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

Enfin, il serait bon de disposer de mesures de DAS pour les kits main libre sans fil (bluetooth, ...).

11.4 La fondation de recherche⁴⁹

La Fondation Santé et radiofréquences devrait permettre d'assurer l'indépendance des chercheurs, et par là favoriser les financements de la recherche. Le groupe d'experts demande que ces financements soient alimentés par des ressources régulières dont la distribution devra être contrôlée par un comité scientifique.

12 RECOMMANDATIONS DE GESTION DU RISQUE

Compte-tenu des résultats des études épidémiologiques, encore très partiels en ce qui concerne l'étude INTERPHONE, et de l'attente des résultats d'études expérimentales non encore publiés à ce jour sur la barrière hématoencéphalique, le groupe estime qu'il n'est pas encore possible de conclure sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques liés aux ondes radioélectriques de la téléphonie mobile.

De ce fait, le groupe d'experts reconnaît la pertinence de l'avis de l'Afsse qui, en 2003, avait préconisé une approche de précaution pour les mobiles et le principe d'attention pour les stations de base. De plus, **le groupe de travail recommande de rendre obligatoire l'application des dispositions contenues dans la circulaire d'octobre 2001 et de ses futures évolutions (sous la forme d'un guide technique rendu obligatoire par voie réglementaire).**

12.1 Approche de l'OMS

L'OMS a conçu une nouvelle structure des approches de précaution, afin de s'écarter de la problématique du principe de précaution, en proposant un texte sur le « cadre de précaution ». Ce cadre

49 Décret du 10 janvier 2005 publié au Journal Officiel du 13 janvier 2005 p.554

propose une approche systématique pour mettre en œuvre des options de précaution face à des effets connus ou incertains. La cellule « champs électromagnétiques » de l'OMS a préparé des études de cas pour les deux principales gammes de fréquences. L'annexe C de ce document porte sur les RF (document consultable sur le site de l'OMS <http://www.who.int/peh-emf/en/>).

12.2 Maîtrise de l'exposition

12.2.1 Affichage de DAS et efficacité des terminaux

Il est nécessaire que les pouvoirs publics veillent à l'application de la réglementation notamment en ce qui concerne le respect de l'affichage du DAS des téléphones mobiles. Les experts recommandent que les DAS soient affichés sur les lieux de vente et que les kits main libre soient fournis avec tous les téléphones. Il est rappelé que la qualité d'un mobile ne dépend pas du seul DAS mais aussi de la capacité de l'appareil à accrocher le réseau (sensibilité et puissance totale rayonnée) et à permettre une communication de bonne qualité. Il serait intéressant que ces deux éléments soient pris en compte et non le seul DAS dans les normes de mesures NF-EN-50360/50361.

12.2.2 Exposition due au mobile

Dans le cadre de l'approche de précaution préconisée, le groupe d'experts recommande de chercher à diminuer l'exposition lors de l'usage des mobiles. Des mesures de bon sens peuvent être rappelées : limiter les temps de communication, privilégier les zones de bonne réception, éloigner le terminal mobile de la tête. Sur ce dernier point, il était proposé dans le rapport 2003 de généraliser l'usage du kit main libre. Force est de constater, à ce jour, sa faible utilisation en particulier par les enfants. Une action plus incitative sur leur usage devrait être mise en œuvre.

12.2.3 Exposition due aux stations de base

En téléphonie mobile, le niveau moyen d'exposition pourrait augmenter avec l'augmentation du trafic GSM, l'introduction de l'UMTS, et la superposition des deux systèmes dans un premier temps. Une évaluation continue reste nécessaire, en particulier dans les zones de fort trafic. Le déploiement des réseaux doit continuer à se faire en concertation étroite avec les populations et les élus et avec un souci récurrent d'intégration.

Panorama radioélectrique :

Un plan global de mesures **échantillonnées** (toutes fréquences, toutes configurations) devrait être mis en œuvre par les pouvoirs publics, qui complètera les mesures faites à la demande des particuliers ou des municipalités afin d'assurer une **représentativité** correcte des mesures ainsi réalisées pour évaluer l'exposition de la population française.

Les émetteurs de faible puissance :

Les pouvoirs publics doivent veiller à l'application de la circulaire d'octobre 2001 (puis au document qui la remplacera) aux micro- et picocellules.

12.3 Enfants

Le groupe d'experts se situe dans la lignée de ce qui a été préconisé par le NRPB (paragraphe 59-61 du rapport 2004 du NRPB).

En ce qui concerne l'exposition de la tête des enfants au téléphone mobile, en l'absence de nouvelles données et compte-tenu des incertitudes qui demeurent, le groupe d'experts maintient la recommandation du rapport 2003. **Il préconise de chercher tous les moyens de limiter l'exposition des enfants au niveau le plus bas possible** (kit-main-libre, campagne d'information des parents ou des jeunes, appareils de niveaux de DAS minimisé, recommandations sur les modes d'usage du mobile...).

Les formations à la sécurité routière en milieu scolaire doivent intégrer les notions relatives au risque de l'utilisation d'un mobile lors de la conduite de tous les types de véhicule.

Il serait bon que des règles précises régissent la commercialisation des téléphones mobiles en direction des populations captives que sont par exemple les enfants : les industriels ne doivent pas inciter les enfants à l'utilisation accrue du téléphone mobile, par la réalisation de publicité ou par la conception de modèles particulièrement ludiques et attrayants pour les enfants.

12.4 Travailleurs

Le groupe d'experts a conscience que des salariés de plus en plus nombreux sont susceptibles de devoir utiliser de façon intensive le téléphone mobile dans le cadre de leur travail. **Une approche de précaution se traduisant par une incitation à diminuer l'exposition au téléphone mobile dans le cadre du travail, notamment au volant, doit s'appliquer aussi à cette catégorie de personnes.**

12.5 Conduite automobile

Même si le risque relatif d'accidents de la circulation associé à l'usage du téléphone mobile au volant paraît moindre que celui initialement évoqué, il n'en reste pas moins qu'il existe, même lors de l'utilisation des kits mains-libres, du fait de la diminution de la vigilance générée par une communication à distance. Le groupe d'experts recommande donc la plus grande vigilance en ce qui concerne les équipements installés par les constructeurs automobiles : **les kits mains libres ne peuvent être en aucun cas utilisés comme arguments de vente de leurs véhicules et encore moins comme un argument de sécurité.**

Par ailleurs, les pouvoirs publics doivent veiller à l'application de la réglementation de non usage des appareils manuels lors de la conduite automobile.

13 COMMUNICATION DU RISQUE

13.1 Initiatives, résultats

Plusieurs initiatives ont été prises récemment pour informer le public :

- un site Internet indiquant la position de toutes les stations de base et les résultats de mesures de champs est disponible (cf. plus haut Cartoradio),
- une exposition à la Cité des Science de la Villette, patronnée par Orange et consacrée à la téléphonie mobile, durera jusqu'à l'été 2005. Elle présente des éléments sur les questions de santé,

De nouvelles actions devraient être mises en œuvre, en particulier grâce la Fondation Santé et RF :

- l'OMS a traduit en français un document qui est un manuel de communication du risque associé aux champs électromagnétiques. Il serait souhaitable que ce document connaisse une large diffusion en France,

-
- sur son Site Internet, l'Afssse devrait proposer des informations sous la forme d'une actualité scientifique trimestrielle qui ferait le point sur les avancées de la recherche et les interprétations en termes de santé publique.

13.2 Introduction obligatoire d'une formation santé – environnement

Il paraît **indispensable et urgent** au groupe d'experts d'intégrer, au cours même des études de certaines professions (médecine, pharmacie, vétérinaire...), une formation axée sur les relations entre environnement et santé ; en effet, ce champ suscite des questions de plus en plus fréquentes et nombreuses et les professions de santé représentent l'interface naturelle entre le public et les pouvoirs publics ou les scientifiques. Leur absence de formation actuelle dans ce domaine ne leur permet pas d'assurer leur rôle de conseil et de sentinelles correctement. De même, une formation continue post universitaire des professions de santé doit être proposée pour les professionnels actuellement en fonction.

14 RESUME

Le groupe d'experts rappelle l'incroyable rapidité de développement de l'usage des technologies radioélectriques au cours des années récentes, et le nombre considérable de personnes utilisant ces appareils. Il a compilé et interprété les nouveaux résultats issus de la recherche mondiale et formulé des recommandations de recherche, en accord avec celles de l'OMS.

Il donne également certaines orientations de gestion du risque.

14.1 *Évaluation du risque*

14.1.1 Téléphones mobiles

Le groupe d'experts estime qu'il ne peut pas à ce jour conclure définitivement sur l'existence d'effets sanitaires causés par les champs électromagnétiques des téléphones mobiles. Ce jugement scientifique est fondé sur :

- le manque de recul dans le temps des études épidémiologiques publiées à ce jour sur le cancer et leur manque de puissance ne permettant pas d'inventorier précisément les relations dose-effet,
- la récente publication suédoise indiquant une augmentation possible des neurinomes du nerf vestibulo-acoustique du côté de l'oreille exposée au téléphone mobile, venant s'ajouter aux résultats positifs d'une étude suédoise antérieure et aux résultats négatifs danois en termes d'incidence.
- les nouveaux résultats épidémiologiques négatifs issus de Suède concernant d'autres tumeurs de la tête,
- l'insuffisance de données concernant les autres types de maladies ou des populations spécifiques (par exemple les enfants),
- les résultats expérimentaux majoritairement négatifs, et l'attente de données issues des grands projets en cours (en particulier la perméabilité de la membrane hémato-encéphalique et la co-promotion des tumeurs).

Le groupe d'experts préconise donc de conserver une attitude de vigilance scientifique, en attendant en particulier les résultats de l'étude Interphone qui devrait éclaircir un certain nombre de questions du fait de son ampleur et de sa puissance, ainsi que ceux des grandes études de réplication expérimentales encore en cours.

De plus, le groupe d'experts recommande d'amorcer des recherches sur des populations potentiellement plus sensibles (comme les enfants) et de poursuivre les études sur les effets sanitaires éventuels des nouveaux signaux.

14.1.2 Stations de base

En ce qui concerne les effets sanitaires éventuels des stations de base, le groupe d'experts retient qu'aucune nouvelle étude n'apporte d'éléments indiquant de tels effets. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, de tels effets ne sont pas avérés.

Le groupe d'experts retient cependant la nécessité d'évaluer les nouveaux appareils de dosimétrie individuelle (exposimètres) qui seuls permettront de connaître les niveaux réels d'exposition aux champs

en vue de la réalisation éventuelle d'études épidémiologiques de grande envergure en population générale.

14.1.3 Étude « TNO »

Le groupe d'experts retient qu'en raison des très nombreuses insuffisances du protocole de l'étude dite « TNO », il est nécessaire d'attendre les études de réplication en cours, avant d'envisager d'en réaliser de nouvelles.

14.2 Gestion du risque

En matière de gestion du risque, le groupe d'experts reconnaît la pertinence des préconisations de l'Afsse et recommande de rendre obligatoire l'application des dispositions contenues dans la circulaire d'octobre 2001 et de ses futures évolutions

14.2.1 Téléphones mobiles

L'approche de précaution préconisée par l'Afsse se traduit par une incitation à diminuer l'exposition au téléphone mobile, qui doit s'appliquer à toute la population, y compris les enfants, les personnes utilisant le téléphone mobile dans le cadre de leur travail, etc. En particulier, tous les moyens de limiter l'exposition doivent être étudiés :

- initiatives facilitant l'utilisation du kit main-libre par le plus grand nombre ou "convivialité" des kits permettant une utilisation de masse,
- appareils de niveaux de DAS minimisés,
- campagne d'information des parents et des jeunes,
- recommandations sur le mode d'utilisation du mobile,
- maîtrise de la publicité, etc.

Il faudrait aboutir à ce que les kits réduisent le DAS absolu de l'ensemble "téléphone mobile plus kit", sachant que des DAS de 0,01 W/kg ne sont plus mesurables.

14.2.2 Stations de base

Malgré l'absence d'effets avérés sur la santé des stations de base, il faut mettre en œuvre le principe d'attention préconisé par l'Afsse en restant attentifs aux plaintes qui peuvent servir d'événements sentinelles. Des moyens adaptés doivent être créés dans ce but.

Lors de nouveaux déploiements de réseaux, une attitude de concertation permanente avec les collectivités locales et le public doit être la règle (application du guide des bonnes pratiques AMF-Afom).

Un plan global de mesures échantillonnées (toutes fréquences, toutes configurations) devrait être mis en œuvre par les pouvoirs publics, afin d'assurer une représentativité correcte des mesures pour évaluer l'exposition de la population française.

15 BIBLIOGRAPHIE⁵⁰

- Adair ER, Black DR, Thermoregulatory responses to RF energy absorption. *Bioelectromagnetics*, 2003; 6:S17-38.
- Adair ER, Mylacraine KS, Allen SJ, Thermophysiological consequences of whole body resonant RF exposure at 100MHz in human volunteers. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24: 489-501.
- Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environmental Health Perspectives* 2004; (OnLine 23 September ([Http://dx.doi.org/](http://dx.doi.org/)))
- Al-Khlaiwi T, Meo, SA, Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and sleep disturbance in Saudi population. *Saudi Med J*, 2004; 25(6): 732-6.
- Allen SJ, Adair ER, Mylacraine KS, Hurt W, and Ziriach J. Empirical and theoretical dosimetry in support of whole body resonant RF exposure (100 MHz) in human volunteers. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24: 502-509.
- Anane R, Dulou PE, Taxile M, Geffard M, Crespeau FL, Veyret B, Effects of GSM-900 MW on DMBA-induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats. *Radiat Res*, 2003; 160(4) :492-7.
- Anane R, Geffard M, Taxile M, Bodet D, Billaudel B, Dulou PE, Veyret B. Effects of GSM-900 MW on the experimental allergic encephalomyelitis (EAE) rat model of multiple sclerosis. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(3):211-213.
- Anderson V. Comparisons of peak SAR levels in concentric sphere head models of children and adults for irradiation by a dipole at 900 MHz. *Phys. Med. Biol.* 2003; 48(20): 3263-3275
- Arai N, Enomoto H, Okabe S, Yuasa K, Kamimura Y, Ugawa Y. Thirty minutes mobile phone use has no short term adverse effects on central auditory pathway. *Clin Neurophysiol*, 2003; 114(18): 1390-14.
- Aran JM, Carrere N, Chalan Y, Dulou PE, Larrieu S, Letenneur L, Veyret B, and Dulon D. Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: in vivo and in vitro experimental studies. *Int J Audiology*. 2004; 43(9): 245-254.
- Aweda MA, Gbenebitse S. Effects of 2.45GHz MW exposure on the peroxidation status in Wistar rats. *Niger postgrad Med J*, 2003; 10(4): 243-246.
- Bak M, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, Dudariewicz A. No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int J Med Environ Health*, 2003; 16(3):201-208.
- Bakos J, Kubinyi G, Sinay H, Thuroczy G. GSM modulated RFR does not affect 6SM excretion in rats. *Bioelectromagnetics*, 2003, 24(8) : 531-34.
- Balikci K, Oezacan IC, Turgut Balik D, Balik H. A survey study of some neurological symptoms and sensations experienced by long term users of mobile phones. *Pathol Biol*, 2004; sous presse.

⁵⁰ il se peut que certaines références ne soient pas appelées dans le texte : en effet, nous les avons laissées même si nous ne les avons pas prises en considération soit que nous ne disposions que d'un résumé ne nous permettant pas de juger de l'ensemble de l'article, soit que l'article ait été jugé trop général, soit que la méthodologie ait été jugée beaucoup trop déficiente pour que l'article soit pris en compte.

-
- Barbaro V, Bartolini P, Calcagnini G, Censi F, Beard B, Ruggera P, Witters D. On the mechanisms of interference between mobile phones and pace makers: parasitic demodulation of GSM signal by the sensing amplifier. *Phys Med Biol*, 2003; 48(11): 1661-1671.
- Barkana Y, Zadok D, Morad Y, and Avni I. Visual field attention is reduced by concomitant hands-free conversation on a cellular telephone. *Am J Ophthalmol*. 2004; 138: 347-353.
- Black DR, Heynick LN. Radiofrequency (RF) effects on blood cells, cardiac, endocrine, and immunological functions. *Bioelectromagnetics*, 2003; Suppl 6: S187-195.
- Campbell RJ, Durigon L. Wireless communication in health care: who will win the right to send data boldly where no data has gone before? *Health Care Manag*, 2003; 22(3): 233-240
- Capri M, Scarcella E, Bianchi E, Fumelli C, Mesirca P, Agostini C, Remondini D, Chuderer J, Kuster N, Francheschi C, Bersani F. 1800 MHz RF does not affect apoptosis and HSP 70 level in perihelical blood mononuclear cells from young and old volunteers. *Int J Radiat Biol*, 2004; 80: 389-397.
- Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N. Whole body exposure to 2.45GHz EMF does not alter radial maze performance in rats. *Behavioural Brain res.*, 2004; 1: 37-43.
- Celik O, Hascalik S. Effect of electromagnetic field emitted by cellular phones on heart rate patterns. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2004; 112(15): 55-56.
- Christensen HC, Schutz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen HJ, Johansen C. Cellular phone and risk of acoustic neuroma. *Am. J. Epidemiol*, 2004; 159:277-283.
- Cobb BL, Jauchem JR, Adair ER. Radial arm maze performance of rats following repeated low level MW radiation exposure. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(1): 49-57.
- Collins RL, Kashdan TB, Gollnisch G. The feasibility of using cellular phones to collect ecological momentary assessment data : application to alcohol consumption. *Exp Clin Psychopharmacol*. 2003; 11(1): 73-78.
- Cook A, Woodward A, Pearce N, Marshall C. Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours. *New Zealand Med. J.*, 2003; 116:U457.
- Curcio G, Ferrara M, DeGenarro L, Cristiani R, D'Inzeo G, Bertini A. Time-course of electromagnetic field effects on human performance and tympanic temperature. *Neuroreport*, 2004; 15(1) :161-4.
- Czyz J, Guan K, Zeng Q, Nikolova T, Meister A, Schonborn F, Schuderer J, Kuster N, Wobus AM. HF electromagnetic fields (GSM1800 signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryon stem cells. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(4): 296-307.
- D'Andrea J., Adair E, de Lorge JO, Behavioural and cognitive effects of microwave exposure. *Bioelectromagnetics*, 2003; 6:S39-62. (a)
- D'Andrea, J, Chou CK, Johnston SA, Adair ER. Microwave effects on the nervous system. *Bioelectromagnetics*, 2003; 6: S107-147. (b)
- D'Costa H, Trueman G, Abdel-Rahman U, Abdel-Rahman W, Ong K, Cosic I. Human brain activity during exposure to RF emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med*, 2003: 26(4) :162-7.
- Dasdag S, Zulkuf AM, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Mutlu S, Dasdag M, Salih C., Whole body exposure of rats to MW emitted from a cellular phone does not effects the testis. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(3): 182-188.
- Davie R, Panting C, Charlton T, Mobile phone ownership and usage among pre-adolescents. *Telematics and informatics*, 2004; 21: 359-373.

-
- Desta AB, Owen RD, Cress LW, Non-thermal exposure to RF energy from digital wireless phones does not affect ODC activity in L929 cells. *Radiat Res.*, 2003; 160(4):488-91
- Dubreuil D, Jay T, Edeline JM, Head only exposure to GSM 900 MHz EMF does not alter rats memory in spatial and non spatial tasks. *Behav Brain*, 2003; 145(1-2): 51-61.
- Durso SC, Wendel I, Lett AM, Lefkowitz J, Kaseman DF, Seifert RD, 2003; 12(5): 313-317
- Eger H, Hagen KU, Lucas B, Vogel P, Voit H. „Einfluß der räumlichen Nähe von Mobilfunksendeanlagen auf die Krebsinzidenz“. *Umwelt-Medizin-Gesellschaft* 2004 ; 4: 326-332
- Elder JA. Ocular effects of RF energy (review). *Bioelectromagnetics*, 2003 (suppl6), S148-61.
- Elder JA and Chou CK. Auditory response to pulsed radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics*. 2003; Suppl 6:S162-173.
- Foster KR, Adair ER. Modeling thermal responses in human subjects following extended exposure to radiofrequency energy. *Biomed Eng Online*. 2004 3: 4
- Gaglio G. Connected to the portable- Sociology of cell phone usage (by Jaurequiberry F) *Revue française de sociologie*, 2004; 45(2): 381-384
- Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Galloni P, Lovisoli GA, Marino C, Pioli C. Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900MHz Radiation on mouse peripheral blood. *Radiation res*, 2003; 160(5): 600-605.
- Grant H, Heirman D, Kuriger G, Ravindran MM. In vitro study of the electromagnetic interaction between wireless phones and an implantable neural stimulator. *Bioelectromagnetics*. 2004 25: 356-361
- Haarala C, Bjonberg L, Ek M, Laine M, Revonuso A, Koivisto M, Hamalainen H. Effects of 902MHz EMF emitted by mobile phones on human cognitive function : a replication study. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(4): 283-288.
- Haarala A, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Laine M, Kra B, Hamalainen H. Effects of 902MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans : a PET study. *Neuroreport*, 2003, 14(16): 2019-2023.
- Haarala C, Ek M, Bjonberg L, Laine M, Revonuso A, Koivisto M, Hamalainen H. 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics*, 2004; 285: 452-456.
- Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C. Examining the effect of EMF emitted by GSM on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin Neurophysiol*, 2004; 115(1): 171-178.
- Hardell L, Mild KH, Sandstrom M, Carlberg M, Hallquist A, Pahlson A. Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. *Neuroepidemiology*. 2003; 22: 124-129.
- Hardell L, Mild KH, Johansson B. Cellular and cordless telephones and basal cell carcinoma: a case report. *Arch. Environ. Health*. 2003; 58(6): 380-382
- Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Gertsen H, Dahlquist A, No association between the use of cellular or cordless telephone and salivary gland tumours. *Occup Environ Health*, 2004; 61(8): 675-679.
- Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Laitinen JT, Lang S, Puranen L, Juutilainen J, Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ODC transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol*, 2003 , 79(4): 221-233.
- Heynick LN, Merritt JH. (2003) Radiofrequency fields and teratogenesis. *Bioelectromagnetics Suppl* 6:S174-86

-
- Hinrichs H, Heinze HJ, Effects of GSM 1800 EMF on the MEG during an encoding-retrieval task. *Neuroreport*, 2004; 15(7): 1191-1194.
- Hinrikus H, Parts M, Lass J, and Tuulik V. Changes in human EEG caused by low level modulated microwave stimulation. *Bioelectromagnetics*. 2004; 25: 431-440.
- Hocking B. & Gordon I Decreased survival for childhood leukemia in proximity to television towers. *Arch Environ Health*. 2003;58: 560-564.
- Hocking B, Westermann R. Neurological changes induced by mobile phone. *Occup Med*, 2003, 52(7) : 413-415.
- Hook GJ, Zhang P, Lagroye I, Li L, Higashikubo R, Moros EG, Straube WL, Pickard WF, Baty JD, Roti Roti JL, Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to RF radiation. *Radiation Res*, 2004; 161(2):193-120.
- Hossmann, KA, Hermann DM, Effects of EM radiations on CNS. *Bioelectromagnetics*, 2004; 24(1): 49-62.
- Huber R, Schuderer J, Graf T, Jutz K, Borbely AA, Kuster N, Achermann P. RF EMF exposure in humans: estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(4):262-276.
- Hung K, Zhang YT. Implementation of a WAP-based telemedicine system for patient monitoring. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2003; 7(2):101-107
- Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M; Akyol O, Ozen S, Ginko biloba prevents mobile phone - induced peroxydative stress in rat brain. *Clin Chim Acta*, 2004; 340(1-2):153-162.
- Inskip D, Devesa SS, Fraumeni JF. Trends in the incidence of ocular melanoma in the United States, 1974-1998. *Cancer Cause and Control* 2003; 14: 251-257
- Johansen C. Electromagnetic fields and health effects--epidemiologic studies of cancer, diseases of the central nervous system and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health*. 2004; 30 (Suppl 1):1-30.
- Kainz W, Alesch F, Chan DD. Electromagnetic interference of GSM mobile phones with the implantable deep brain stimulator, ITREL-III. *Biomed Eng online*, 2003; 2(1):11.
- Kainz W, Chan DD, Casamento JP, Bassen HI. Calculation of induced current densities and specific absorption rates (SAR) for pregnant women exposed to hand-held metal detectors. *Phys. Med. Biol.*, 2003b; 48: 2551-60
- Kato A, Shoji A, Aoki N. Very-low - voltage electrical injuries caused by cellular-phone chargers. *Contact Dermatitis*, 2003; 49(3): 168
- Keeling P, Hughes D, Shaw S, Barton A. Safety and feasibility of prehospital thrombolysis carried out by paramedics. *BMJ*, 2003; 327: 27-28
- Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, Kalcioğlu MT, Miman MC. Effects of chronic exposure of EMF from mobile phones on hearing in rats. *Auris nasus larynx*, 2003; 30(3): 239-245.
- Kojima MI, Hata I, Wake K, Watanabe SI, Yamanaka Y, Kamimura Y, Taki M, Sasaki K. Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(3): 228-233.
- Kosaka R, Sankai Y, Takiya R, Jikuya T, Yamane T, Tsutsui T. Tsukuba remote monitoring system for continuous-flow artificial heart. *Artif Organs*, 2003; 27(10): 897-906

-
- Kramarenko AV, Tan U. Effects of HF EMF on human EEG : a brain mapping study. *Int J Neurosci*, 2003; 113(7):1007-1019.
- Krause CM, Haarala, C, Sillanmaki L, Koivisto M, Alanko K, Revons A, Laine M, Hamalainen H. Effects of EM fields emitted by cellular phones on EEG during an auditory memory task : a double blind replication study. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(1): 33-40.
- Kundi M. Mobile phone use and cancer. *Occup Environ Med*, 2004; 61: 560-570.
- Kundi M, Mild KH, Hardell L, Mattsson MO. Mobile telephones and cancer – A review of epidemiological evidence. *J Toxicol Environ Health*. 2004; 7: 351-384
- Kuster N, Schuderer J, Christ A, Futter P, Ebert S. Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. *Bioelectromagnetics*. 2004; 25: 524-529.
- La Regina M, Moros EG, Pickard WF, Straube WL, Baty J, Roti Roti JL. The effect of chronic exposure to 835.62 MHz TDMA or 847.74 CDMA RF radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. *Radiat Res*, 2003; 160(2): 143-151.
- Laberge-Nadeau C, Maah U, Bellavance F, Lapierre SD, Desjardins-Messier S, Saidi A. Wireless telephones and the risk of road crashes. *Accident Anal Prev*, 2003; 35(5): 649-660.
- Lagroye I, Anane R, Wettring BA, Moros EG, Straube WL, Laregina, Niehoff M, Pickard WF, Baty J, Roti Roti JL. Measurements of DNA damage after acute exposure to pulsed waves 2450MHz in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *Int J Radiat Biol*, 2004; 80(1): 11-20.
- Lagroye I, Hook GJ, Wettring BA, Baty JD, Moros EG, Straube WL, Roti Roti JL. Measurement of alkali labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450MHz MW and low dose gamma irradiation in vitro. *Radiat Res*, 2004; 161(2): 201-14.
- Lai H. Interactions of MW and temporally incoherent magnetic field on spatial learning in rat *Physiology and Behavior*, 2004; 84: 785-789.
- Lee TM, Lam PK, Yee LT, Chan CC, The effect of duration of exposure to the EMF emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*, 2003; 14(10) : 1361-14.
- Lehalle D. *Les nouvelles technologies au service de la mobilité Soins*, 2003; 678: 28-30
- Lesch MF, Hancock PA. Driving performance during concurrent cell-phone use: are drivers aware of their performance decrease? *Accident Anal. Prev.*, 2004; 36:471-480.
- Leszczynski D, Nylund R, Joevaara S, Reivinen J. Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation. *Proteonomics*, 2004; 4:426-431.
- Lin JC. Studies of MW in medicine: from snails to humans. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25:146-159.
- Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology*, 2004; 15(6): 653-659.
- Lönn S, Forssen U., Vecchia P, Ahlbom A. and Feychting M. Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. *Occup Environ Med*. 2004b; 61:769-772.
- Lönn S, Klæboe L, Hars P, Auvinen A, Christenssen A, Johansen C, Salminen T, Tynes T, Feychting M. Incidence trends of adult primary intracerebral tumors in four nordic countries. *Int J Cancer*, 2004; 108, 450-455.
- Lönn S. Mobile phone use and risk of intracranial tumors. *Kongl Carolinska Medico chirurgiska Institutet. Stockholm* 2004.

-
- Maier R, Greeter SE, Maier N. Effects of pulsed EMF on cognitive processes : pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. *Acta Neurol Scand*, 2004; 110(1): 46-52.
- Marinelli F, La Sala D, Ciccio G, Cattinin L, Trimarchi C, Putti S, Zamparelli A, Giuliani L, Tomassetti G, Cinti C. Exposure to 900MHz EMF induce an unbalance between pro apoptotic and pro survival signals in T-Lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cells. *J.Cell Physiol*, 2004; 198: 324-332.
- Marino AA, Nilsen E, Frilot C, Nonlinear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(5): 339-346.
- Markkanen A, Penttinen P, Pelkonen J, Sihlvonen AP, Juutilainen J. Apoptosis induced by UV radiation is enhanced by AM RFR in mutant yeast cells. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25: 127-133.
- Martinez-Burdalo M, Martin A, Anguiano M, Villar R. Comparison of FDTD-calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz. *Phys Med Biol*. 2004; 49(2): 345-354.
- Mbonjo Mbonjo HN, Strckert J, Blitz A, Hansen V, Glasmacher A, Glencol S, Rozic D. Generic UMTS test signal for RF bioelectromagnetics studies. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(6): 415-425.
- Meltz, M. RF exposure and mammalian cells toxicity, genotoxicity, and transformation. *Bioelectromagnetics*, 2003; 6: S196-213.
- Monfrecola G, Moffa G, and Procaccini EM. Non-ionizing electromagnetic radiations, emitted by a cellular phone, modify cutaneous blood flow. *Dermatology*. 2003; 207: 10-14
- Munoz-San MS, Sebastien JL, Sancho M, Miranda JM. A study of field electric distribution in erythrocytes and rod shape cells from direct RF exposure. *Phys Med Biol*, 2003; 48(11): 1649-1659.
- Nakamura H, Matsuzaki I, Hatta K, Nobukuni Y, Kambayashi Y. Non thermal effects of mobile phone frequency MW on uteroplacental functions in pregnant rats. *Reprod toxicol*, 2003; 17(3): 321-326.
- Nylund R, Leszczynski D. Proteomics analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM900 radiation. *Proteomics*, 2004; 4: 1359-1365.
- Oliveira, C, Carpentiero G, Creia LM. Exposure to EM radiation from GSM and UMTS base station antennas. *Radioproteccao*, 2003; 2(2-3): 121-138.
- Omer A, Sheikh A, Paraskevas P, Darzi A, Use of mobile phones in the hospital: time to leave the ban. *The lancet*, 2003; 361(9359): 788.
- Ono T, Saito Y, Komura J, Ikehata H, Tarusawa Y, Nojima T, Goukon K, Ohba Y, Wang J, Fujiwara O, Sato R. Absence of mutagenic effects of 2.45 GHz radiofrequency exposure in spleen, liver, brain, and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero. *Tohoku J Exp Med*, 2004; 202: 93-103
- Potokar, T, McKenzie Ross AD, Clewer G, Dickson WA. Mobile phone - a potential fire hazard? *Burns*, 2003; 29: 493-494.
- Poysti L, Rajalin S, Summala H. Factors influencing the use of cellular mobile phone during driving and hazards while using it. *Accident Anal Prev*, (accepté pour publication 2004).
- Prohovski EW. RF absorption involving biological macromolecules. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25: 441-451.
- Pyrpasopoulou, A, Kotoula V, Cheva A, Hytioglou P, Nikolakaki E, Magras I, Xenos TD, Tsiboukis TD, Karkavelas G. Bone morphogenetic protein expression in new born rat kidneys after prenatal exposure to RFR. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25: 216-227.

-
- Ramundo-Orlando A, Liberti M, Mossa G, D'Inzeo G, Effects of 2.45GHz MW fields on liposomes entrapping glycoenzyme ascorbate oxydase ; evidence for oligosaccharide side-chain involvment. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25(5): 338-345.
- Rodier PM. Environmental causes of central nervous system maldevelopment. *Pediatrics* 2004; 113:1076-83
- Roelandts R. Cellular phones and the skin. *Dermatology*. 2003; 207: 3-5
- Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to MW from GSM mobile phones. *Environ Health perspec*, 2003; 111(7): 881-883.
- Santini, R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M, Enquête sur la santé des riverains de stations relais de téléphonie mobile : II/incidence de l'âge des sujets, de la durée d'exposition, et de leur position par rapport aux antennes et autres sources électromagnétiques. *Pathol.Biol.* 2003; 51: 412-415.
- Seishima M, Oyama Z, Oda M. Cellular phone dermatitis with chromate allergy. *Dermatology*, 2003 ; 207(1): 48-50
- Smythe JW, Costall B, Mobile phone use facilitates memory in male, but not female subjects. *Neuroreport*, 2003; 14(2): 243-246.
- Sommer AJ, Streckert J, Bitz AK, Hansen VW, Lerchl A. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice *BMC Cancer*, 2004; 4 :77-89
- Stopczyk D, Gnitecki W, Buczinski A, Markuszewski L, Effects of EMF produced by mobile phones on the activity of SOD and the level of MDA ; in vitro study. *Buczinski J*, 2002, 53(4): 311-314.
- Sullman MJM, Baas PH. Mobile phone amongst New Zealand drivers. *Transportation research part F*, 2004; 95-105.
- Tachakra S, Wang XH, Istepanian RS, Song YH. Mobile e-health: the unwired evolution of telemedicine. *Telemed J E Health* 2003; 9(3): 247-257
- Tahvanainen K, Nino J, Halonen P, Kuusela T, Laitinen T, Lansimies E, Hartikainen J, Hietanen M, Lindholm H. Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25: 73-83.
- Thalau HP, Raczek J, Marx B, Hombach V, Cooper J, Temperature changes in chicken embryos exposed to a continuous-wave 1.25 GHz radiofrequency electromagnetic field. *Radiat Res.* 2003, 159(5): 685-92.
- Utteridge TD, GebSKI V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. (2002) Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 158:357-64
- Van Rongen E, Roubos EW, Van Aernsbergen LM, Brussaard G, Havenaar J, Koops FBJ, Van Leeuwen FE, Leonhard HK, Van Rhoon GC, Swaen GMH, Van deWeerdT RHJ, Zwamborn APM, Mobile phones and children: is protection warranted? *Bioelectromagnetics*, 2004; 25:142-144.
- Vitella A, Bayas JM, Diaz MT, Guinovart C, Diez C, Simo D, Munoz A, Cerezo J, The role of mobile phones in improving vaccination rates in travellers. *Preventive medicine*, 2004; 38: 503-509.
- Von Klitzing L. Time-slot modulated EMF of wireless communications systems: is there a health risk for men? *Indian J Exp Biol*, 2003, 41(5):511-3.

-
- Warren HG, Prevatt AA, Daly KA, Antonelli PJ. Cellular telephone use and risk of intratemporal facial nerve tumor. *Laryngoscope*, 2003; 113(4): 663-7.
- Weisbrot D, Lin H, Ye L, Blank M, Goodman R. Effects of mobile phone radiation on reproduction and development of *drosophila melanogaster*. *J.Cell Biochem*, 2003; 89(1): 48-55.
- Westerman R, Hocking B. Diseases of modern living: neurological changes associated with mobile phones and radiofrequency radiation in humans. *Neurosci Lett*. 2004; 361: 13-16.
- White MP, Eiser JR, Harris PR. Risk perceptions of mobile phone use while driving. *Risk analysis*, 2004; 24:323-334.
- Wilén J, Sandström M, Mild KH. Subjective symptoms among mobile phone users – A consequence of absorption or radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics*. 2003; 24(3): 152-159
- Wilkins C, Casswell S, Barnes HM, Pledger M. A pilot study of a computer-assisted cell-phone interview (CACI) methodology to survey respondents in households without telephones about alcohol use. *Drug Alcohol Rev*. 2003; 22(2): 221-225
- Wilson J, Fang M, Wiggins S, Cooper P. Collision and violation involvement of drivers who use cellular telephones. *Traffic Inj Prev* 2003; 4(1): 45-52
- Wolf R and Wolf D. Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *Int J Cancer Prev*. 2004; 1(2)
- Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H, 1439 pulsed TDMA fields affect performances of rats in maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(4): 223-230.
- Yao K, Wang KJ, Sun ZH, Tan J, Xu W, Zhu LJ, Lu DQ, Low power microwave radiation inhibits the proliferation of rabbit lens epithelial cells by upregulating P27Kip1 expression *Molecular Vision* 2004; 10:138-43
- Zeni, O, Chiavoni AS, Sannino A, Antonilli A, Forigo D, Bersani F, Scarfi MR. Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro at 99MHz EMF. *Radiation Res.*, 2004; 160-2): 152-158.
- Zmyslony M, Poltanski, P, Rajkowska E, Smymczak W, Jajte J. Acute exposure to 930MHz CW EM radiation affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated with iron ions. *Bioelectromagnetics*, 2004; 25: 324-328.

16 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.

Alain AZOULAY est ingénieur de l'École supérieure d'électricité. Il a été ingénieur d'études auprès de la société Thomson CSF, division Faisceaux hertziens, ingénieur d'études en "propagation radioélectrique" du département "Antennes et propagation hertzienne du Centre national d'études des télécommunications (CNET). Il a été ensuite chargé du groupe "perturbations radioélectriques" du CNET, puis chargé de la responsabilité de différents départements : "compatibilité électromagnétique", "Radiocommunication de terre et compatibilité électromagnétique", "Radiocommunication pour les mobiles, les réseaux d'accès et la compatibilité électromagnétique" au sein du CNET. Il a été responsable du service "Antennes, expertise et mesures radioélectriques" au centre technique de TDF. Il est actuellement enseignant à l'École supérieure d'électricité depuis 1997, après avoir été enseignant à l'École centrale de Paris dans le domaine de la compatibilité électromagnétique. Son activité de recherche actuelle porte sur les mesures de champs pour les nouveaux systèmes de radiocommunication et de radiodiffusion, ainsi que sur l'utilisation des chambres réverbérantes pour caractériser les émissions radioélectriques. Il est l'auteur de publications dans des revues scientifiques nationales et internationales, de présentations scientifiques à l'occasion de conférences internationales et membre de groupes de normalisation au niveau international.

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.

Frédéric COUTURIER est ingénieur électronicien EUDIL, Responsable des études de la Direction Technique de Contrôle du Spectre de l'Agence Nationale des Fréquences. Il participe aux travaux européens de la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications et internationaux de l'Union International des Télécommunications dans le domaine du contrôle des émissions radioélectriques. À partir de 2000, Il a présidé successivement le groupe de travail Français puis Européen pour l'élaboration d'un protocole de mesure (in situ) des rayonnements non ionisants. À partir de 2001, il a régulièrement contribué au panorama du rayonnement électromagnétique en France de l'ANFR.

Jean-Claude DEBOUZY est un ancien élève de l'école de santé navale de Bordeaux, actuellement médecin en chef, chef de l'unité de biophysique cellulaire et moléculaire du Centre de Recherches du Service de Santé des Armées. Il est titulaire d'une thèse de Sciences de Paris-VI portant sur l'application des méthodes de résonance magnétique nucléaire à l'étude de problèmes biologiques. Ses travaux ont porté et portent encore sur les interactions drogues-membranes et drogues-ADN, par méthodes spectroscopiques (RMN-RPE), ainsi que sur la décontamination/chélation des ions lourds en milieu biologique au moyen de cyclodextrines modifiées. Ces travaux ont occasionné la majorité des 75 articles publiés jusqu'à présent. Depuis 1995, s'est mise en place la thématique portant sur les effets biologiques des rayonnements non ionisants. À ce titre il est membre de l'URSI, du BEMS, de la Biophysical Society et de la Société Française de Biophysique, et participe aux commissions OTAN portant sur les rayonnements radio-radar (RADHAZ). Professeur agrégé du Val de Grâce depuis 2002, il est chevalier de la légion d'honneur et de l'ordre national du mérite.

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, notamment sur le téléphone mobile. 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 et de Surveillance Transport Travail Environnement (UMRESTTE), (UMR N°9002 Inrets/UCBL/InVS), elle est chargée de recherche à l'Inrets, orientant une partie de 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 biologiste, Docteur en Pharmacie et en Sciences de la vie. Elle est Maître de Conférences au laboratoire de bioélectromagnétisme de l'École Pratique des Hautes Etudes, associé au laboratoire PIOM de l'École Nationale Supérieure de Chimie Physique de l'Université Bordeaux I. Elle travaille depuis 10 ans sur les effets biologiques des ondes électromagnétiques. Elle est responsable de différents programmes d'étude des effets des RF émises par les téléphones mobiles sur le cerveau en particulier, notamment dans le cadre de l'ACI "téléphonie mobile et santé". Elle est actuellement membre du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (Section milieux de vie) et de différentes sociétés (SFRP, EBEA, BEMS).

Michel TERRE est ingénieur de l'Institut National des Télécommunications et docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris. Il a été ingénieur d'études successivement auprès des sociétés TRT, Thomson CSF et Alcatel. Il a été responsable du département Télécommunications Signal Image

de l'Institut Supérieur d'Electronique de Paris. Actuellement, il est Maître de Conférences au Conservatoire National des Arts et métiers de Paris, dans la chaire de radiocommunications depuis septembre 1998. Ses travaux de recherches ont été orientés essentiellement vers l'optimisation et l'amélioration de systèmes de transmission et d'accès radio. Il est l'auteur de publications dans des revues scientifiques nationales et internationales avec comité de lecture et de présentations scientifiques à l'occasion de conférences internationales. Il est également détenteur de plusieurs brevets dans le domaine des radiocommunications. Il est membre senior de la SEE.

Paolo VECCHIA est physicien, directeur de recherche à l'Institut Supérieur de la Santé d'Italie, à Rome. Il travaille dans le groupe des Rayonnements non ionisants du Département Technologies et Santé. Il a effectué depuis plus de vingt ans des recherches dans le domaine des effets biologiques et sur la santé humaine des champs électromagnétiques, soit de basse soit de haute fréquence. Il a participé aussi aux travaux de nombreuses commissions nationales et internationales pour la protection des travailleurs et du public contre les risques des rayonnements non ionisants. Il a enseigné en ce domaine dans les universités de Rome «Tor Vergata» et de Pise. Il a été président de l'Association Italienne de Radioprotection (AIRP) et de l'Association Européenne de Bioélectromagnétisme (EBEA). Actuellement, il est président de la Commission Internationale pour la Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP) et du Comité de coordination de l'Action COST281 (Possibles implications pour la santé des systèmes de téléphonie mobile).

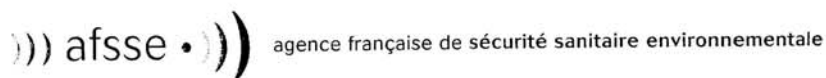
Bernard VEYRET est ingénieur physicien ESPCI, Docteur ès Sciences, directeur de recherche CNRS au laboratoire de Physique des Interactions Ondes-Matières (PIOM), à l'ENSCP à Bordeaux. Il est directeur du Laboratoire de Bioélectromagnétisme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Il effectue des recherches 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 responsable du programme européen de recherche Perform-B sur les effets sanitaires éventuels des téléphones mobiles.

17 ACRONYMES ET ABREVIATIONS

BCCH	Voie balise (GSM)
BEMS	Bioelectromagnetic Society
BHE	Barrière hémato-encéphalique
CDMA	ou AMRC (Code Division Multiple Access ou Accès multiple à répartition par code) Méthode d'accès au canal Hertzien utilisé par certains réseaux de téléphonie mobile au moyen d'un code pseudo-aléatoire personnel.
COST	Cooperation in Science and Technology
CSO	Centre de Sociologie des Organisations
EBEA	European Bioelectromagnetica Association
EDGE	(Enhanced Data Rate for GSM Evolution). Technologie intermédiaire entre le GSM et l'UMTS
EEG	Electroencéphalogramme
FGF	Forschungsgemeinschaft Funk, organisme de recherche allemand dans le domaine des applications radio
GPRS	«General Packet Radio Service»: Technologie permettant la radiotransmission de données avec des débits élevés.
GPS	Global Positioning System
HSP	Heat shock protein : protéine de choc thermique
ICNIRP	International Commission on Non Ionizing Radiation Protection
IECS	International Comittee on Electromagnetic Safety
IRPA	International Radiation Protection Asociation
NMT	Nordic Mobile Telephone. (Norme de radiotéléphonie cellulaire analogique)
NRPB	National Radiological Protection Board (Agence de radioprotection de Grande Bretagne)
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RF	Radiofréquences
SSI	Statens strålskyddsinstitut (Agence de Radioprotection Suédoise)
TDMA	ou AMRT (Time Division Multiple Access ou Accès Multiple à Répartition dans le Temps)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio Access (Norme de radiocommunication adoptée mobile professionnelle)
TNO	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Système de télécommunications mobiles universelles)
WI-FI	Wireless Fidelity Cooperation in Science and Technology
WHO	World Health Organisation (ie OMS)
WLAN	Wireless Local Area Network (Réseau local sans fil ondes radio à hautes fréquences).

18 ANNEXES

Annexe a Lettre de mission de la directrice générale de l'Afsse



La Directrice Générale

MFV/GD/ALR2004 – n°1070

☎ : 01.56.29.19.37

Affaire suivie par : Dr Gilles DIXSAUT

Maisons-Alfort, le **27 AOUT 2004**
Madame Martine Hours
INRETS
25 av François Mitterrand
69500 BRONS

Objet : Mission du groupe d'experts de l'AFSSE relatif à l'actualisation des données scientifiques sur les effets biologiques et sanitaires de la téléphonie mobile.

Madame,

Vous avez accepté de participer aux travaux du groupe d'experts « téléphonie mobile » de l'AFSSE et je tiens à vous en remercier. Avant d'engager plus avant les travaux de ce groupe, il m'apparaît utile d'en fixer avec précision la mission.

Depuis la publication du rapport du précédent groupe d'experts et de l'avis de l'AFSSE le 17 avril 2003, plusieurs rapports de synthèse sur la téléphonie mobile ont été publiés, en particulier le rapport britannique du NRPB, qui vise à faire un point complet de l'état des connaissances, le rapport du SSI, qui vise à faire une mise à jour rapide et régulière de l'état des connaissances, le rapport du Conseil de la santé hollandais qui vise également à faire une mise à jour rapide de l'état des connaissances, ainsi qu'un rapport suisse dont l'objet est le même..

L'AFSSE de son côté, conformément aux missions qui lui sont confiées par la loi, doit publier chaque année un document de mise à jour de l'état des connaissances. A cet effet, et dans l'attente de l'installation du comité d'experts spécialisé prévu dans le domaine des agents physiques et grands aménagements, en cours de constitution, et afin de ne pas retarder la publication de ce rapport il a été décidé de constituer un groupe d'experts ad hoc. La mission de ce groupe est d'abord de réaliser un inventaire et une évaluation des travaux scientifiques publiés depuis le dernier rapport remis à l'Agence par le groupe d'experts présidé par Bernard Veyret, ou en cours de publication dans le domaine des effets biologiques et sanitaires éventuels des installations et équipements de téléphonie mobile et de radiocommunication, qu'il s'agisse des rapports de synthèse ou des publications scientifiques originales. En outre une particulière attention devra être portée aux travaux relatifs aux nouvelles et futures technologies de radiocommunication, qu'elles relèvent strictement des applications de la téléphonie mobile ou de l'environnement de la téléphonie mobile. Je veux parler ici notamment des transmissions à courte portée, pour lesquelles il convient de se prononcer en termes d'effets sanitaires éventuels. L'objectif de cette évaluation n'est pas de faire un point complet de l'état des connaissances, mais de compléter les éléments du rapport précédent.

Sur le fondement de ses conclusions le groupe d'experts proposera le cas échéant des orientations en matière de gestion de risques qui auraient été identifiés en direction des pouvoirs publics. Le groupe d'experts présentera également ses recommandations en matière de recherches.

En outre, par courrier daté du 3 février 2004, les ministères en charge de la santé et de l'environnement ont chargé l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale d'évaluer la faisabilité et la pertinence d'études complémentaires, destinées à dupliquer l'étude conduite par l'Institut de recherche technologique Néerlandais TNO, sur certains effets possibles des stations de base de téléphonie mobile, notamment en ce qui concerne les stations de base UMTS (étude non

)) 27-31 avenue du général Leclerc - BP 320 - 94709 Maisons-Alfort cedex
Tél. : 01 56 29 19 30 - Fax : 01 43 96 37 67 - e-mail : afsse@afsse.fr - www.afsse.fr
n° siren 180092348

publiée à ce jour dans une revue scientifique). Une copie de cette saisine a été adressée à chacun d'entre vous.

Il ne m'est pas apparu nécessaire de créer un deuxième groupe d'experts ayant une mission spécifique afin de répondre à cette question particulière. C'est pourquoi, je vous propose d'intégrer dans le cadre de votre rapport les réponses aux questions posées dans cette saisine ministérielle, ainsi que vos propositions d'action. Ces éléments pourraient faire l'objet d'un chapitre particulier.

Le rapport rédigé par le groupe d'experts est destiné à être rendu public et, le cas échéant, à donner lieu à la publication d'un avis de l'Agence. Aussi, il me paraît important que le groupe d'experts s'attache à exposer dans le détail la méthode de travail qu'il aura suivie, avec en particulier des précisions sur :

- i. les différentes sources d'informations utilisées (littérature scientifique, travaux scientifiques non encore publiés, auditions/consultation d'experts, travaux de calculs et/ou de modélisation etc.) ainsi que les critères de sélection des informations retenues ;
- ii. les critères de sélection des experts extérieurs éventuellement consultés ; les critères de sélection des données bibliographiques, et les bases de données utilisées – référencées dans la bibliographie du rapport - ; une prééminence devra être donnée aux travaux issus d'organismes scientifiques officiels et aux revues scientifiques à comités de lecture ;
- iii. les règles adoptées pour interpréter les données ainsi recueillies.

Afin de garantir l'indépendance de l'expertise, l'AFSSE veillera à ne pas interférer avec le déroulement du travail scientifique du groupe d'experts, sauf sur demande écrite du président du groupe d'experts. L'Agence assurera le secrétariat du travail scientifique (collecte des données, bibliographie, traitement statistique, compte-rendu des réunions etc.).

Je remercie Madame le docteur Martine Hours d'avoir accepté d'assurer la présidence du groupe d'experts.

Je souhaiterais pouvoir disposer des conclusions de vos travaux pour le 15 décembre 2004.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de ma considération distinguée.

Avec mes remerciements

La Directrice Générale



Michèle FROMENT-VEDRINE

Annexe b Saisine de l'Afsse

COURRIER REÇU LE



0 6 FEV. 2004

4856

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU
DEVELOPPEMENT DURABLE
Direction des études économiques et de
l'évaluation environnementale

MINISTÈRE DE LA SANTÉ, DE LA FAMILLE ET
DES PERSONNES HANDICAPÉES
Direction générale de la santé
DGS/SD7B/27

Le Directeur Général de la Santé

Le Directeur des Études Économiques
et de l'Évaluation Environnementale

à

Madame la Directrice Générale de
l'Agence Française de Sécurité
Sanitaire Environnementale
27-31 Avenue du Général Leclerc-
BP320
94709 MAISONS ALFORT Cedex

Paris, le 03 FEV. 2004

Objet : Saisine de l'AFSSE concernant la téléphonie mobile et les antennes relais de type UMTS

Madame la Directrice Générale,

La téléphonie mobile est sur le point de se développer par l'utilisation d'une nouvelle technologie dénommée UMTS (Universal Mobile Telephony System). Celle-ci est notamment fondée sur une méthode de partage des fréquences différente de celle actuellement utilisée par la technologie GSM (Global System for Mobile Communication). Le déploiement de ce nouveau système de communication doit se faire sur toute la France dès 2004. L'exposition des populations est potentiellement importante et il importe donc de s'assurer des conditions de déploiement de cette nouvelle technologie.

A l'issue d'une étude fondée sur des tests effectués en laboratoires courant 2003, l'institut de recherche technologique néerlandais TNO a fait état d'effets spécifiques sur les personnes exposées à l'émission d'ondes électromagnétiques à proximité des antennes relais de type UMTS. Les personnes testées auraient fait part notamment de sensations de picotement, de maux de tête et de nausées.

Nous vous remercions pour les premiers éléments d'analyse que vous nous avez communiqués sur la validité et les conclusions de cette étude. Ils soulignent la nature controversée des résultats et suggèrent des propositions d'études complémentaires. C'est pourquoi nous vous demandons d'explorer plus avant :

- les conditions de la pertinence de telles études,
- leur faisabilité technique et financière,
- les problèmes méthodologiques et les biais de sélection dans les groupes témoins qu'il conviendrait d'éviter pour une interprétation fiable des résultats.

Sur ce dernier point, nous vous suggérons notamment de vous mettre en rapport avec l'Institut de veille sanitaire.

Nous vous prions d'agréer, Madame la Directrice Générale, l'assurance de notre considération distinguée.

Le directeur général de la santé



Professeur William DAB

Le directeur des études économiques
et de l'évaluation environnementale



Dominique BÉRAL

Annexe c Recommandations de l'OMS en ce qui concerne les enfants

WHO Workshop on Childhood Sensitivity to EMFs

Istanbul, Turkey, 11 June 2004

Working Group Research Recommendations

Chairman: Mike Repacholi

Rapporteurs: Emilie van Deventer, Leeka Kheifets, Rick Saunders

Membership:

Alastair McKinlay; Arwel Barrett; Robert Brent; Lawrie Challis; John Collins; Maria Feychting; Camelia Gabriel; Denis Henshaw; Jukka Juutilainen; Shaiela Kandel; Rob Kavet; Isabelle Lagroye; Stelian Ghelberg; Tracy Lightfoot; Gail Lundell; Gabor Mezei; Patricia McKinney; Chiyoji Ohkubo; Christof Olivier; Ludek Pekarek; Agnette Peralta; Carlos de Pozo; Eric van Rongen; Colin Roy; Tomohiro Saito; John Scholes; Joachim Schuz; Nesrin Seyhan; Riti Shimkhada; Zenon Sienkiewicz; John Swanson; Leon du Toit; Hilary Walker; Joe Wiart; Barney de Villiers; Zhengping Xu.

Introduction and General Comments

The Working Group considered research recommendations for studies relevant to the risk of adverse health effects in children from exposure to electromagnetic fields (EMFs). The issues under consideration reflected and amplified the various suggestions and proposals made by the individual presenters at the preceding WHO Workshop on Childhood Sensitivity to EMFs held in Istanbul on 9–10 June, 2004. The workshop proceedings are available in a special edition of *Bioelectromagnetics* (in press).

Particular issues included the role of extremely low frequency (ELF) magnetic fields in the development of childhood cancer and possible risks from mobile phone radiofrequency (RF) radiation, especially regarding brain cancer and cognitive function. Less emphasis was given to risks from exposure to static fields and to fields associated with security devices. However, pregnant workers are employed in retail industries with an increasing prevalence of security and identity devices, including devices for electronic article surveillance (RFID/EAS). A better understanding of the dosimetry and possible health effects for this region of the spectrum is needed, since it is not clear that extrapolation from higher and lower frequency regions is sufficient.

Separate breakout groups considered research recommendations for further epidemiological studies, laboratory studies (including those using volunteers, animals and *in vitro* techniques), and dosimetry work which were then discussed in a plenary session. The relevance of these different studies to health risks in people varies. Epidemiological studies of the distribution of disease in populations and the factors that influence this distribution provide direct information on the health of people exposed to an agent and are given the highest weighting. However, they may be affected by bias and confounding, and their observational nature makes it difficult to infer causal relationships, except when the evidence is strong. Experimental studies using volunteers can give valuable insight into the transient physiological effects of acute exposure, although for ethical reasons these studies are normally restricted to healthy people. Recommendations concerning laboratory studies using children are, of course, subject to appropriate ethical approval. Studies of animals, tissues and cell cultures are also important but are given less weight. Animal studies can often be expected to provide

qualitative information regarding potential health outcomes, but the data may not be extrapolated to provide quantitative estimates of risk, largely because of differences between species. Studies carried out at the cellular level are normally used to investigate mechanisms of interaction, but are not generally taken alone as evidence of effects in vivo. Nevertheless, each type of study has a role to play in determining the scientific plausibility of any potential health risk.

Dosimetry provides a precise measure of the interaction of EMFs with people, and exposure assessment provides an estimate of individual and population exposure to EMFs that contributes to the assessment of the likely impact of exposure on health. Each such assessment needs to consider all sources of EMF (low and high frequencies) to which an individual or a population may be exposed.

I. General Recommendations

The Dosimetry Working Group made the following general recommendations:

- A better understanding of foetal and childhood exposure to EMFs is required, including an assessment of exposure to the high static magnetic fields encountered around magnetic resonance imaging (MRI) equipment and the lower static magnetic fields encountered in public transport vehicles, and an assessment of exposure to ELF fields, especially residential exposure from under-floor electrical heating and from transformers in apartment buildings. For RF fields, exposure assessment is particularly weak for base stations and TV and radio towers and needs further exploration. High Priority.

Rationale: This information, in combination with dosimetric modelling and an understanding of possible biological effects, is needed to assess the risk to health posed by such exposure.

- More-accurate dosimetric models of pregnant women, of foetuses at various developmental stages (neural tube closure; differentiation and organogenesis; growth) and of children are needed. In addition, an exploration of EMF microdosimetry at the cellular or subcellular levels should be supported. High Priority

Rationale: Dosimetric information regarding pregnancy and the developing foetus is lacking; this information is required for a proper health risk assessment. In addition, exploration of EMF microdosimetry may yield new insights concerning biologically relevant targets.

- Additional data on the dielectric and thermal properties of human tissues and organs at various developmental stages, including the foetal stage, is needed. High Priority

Rationale: The dielectric constant is a factor that varies with age. Foetal data could be significantly different from data on children or adults, but it may be very difficult to obtain ethical approval to acquire experimental data. Perhaps ultrasonic examinations could provide data on dimensions that may allow estimation of water content, from which dielectric constants can be derived.

II. Static Fields

Static magnetic fields were not specifically addressed at the Workshop. It was recognized, however, that there is also a need to address childhood susceptibility to static magnetic fields because of both developing technologies like magnetic levitation transportation and the ever-increasing use of magnetic resonance imaging techniques. This led to the following recommendation:

- Future laboratory studies of static magnetic fields should consider the effects of prenatal and early postnatal exposures in addition to those of adult exposure. High Priority.

Rationale: There are few studies of the effects of prenatal and early postnatal exposure, particularly to very intense magnetic fields (>1 T).

III. ELF Fields

1. Epidemiological Studies

Something of an impasse has been reached in designing studies of ELF magnetic fields and childhood leukaemia. While existing epidemiological studies show a consistent association, most of the available studies are of case-control design and are thus potentially subject to selection bias. To move forward we need innovative approaches, which might include (1) designing studies capable of evaluating selection bias (e.g., by collecting data on magnetic fields and participation) and/or minimizing it (e.g., a cohort study), or (2) identifying large, highly exposed populations (e.g., those living in apartments next to transformers), or susceptible subgroups (e.g., previously initiated populations in which magnetic fields act as a second 'event' in carcinogenesis). In addition, two hypotheses concerning causality (contact current and melatonin) were discussed at the Workshop. All of these approaches and hypotheses pose major challenges.

- Pooled analysis of childhood cancer studies. High Priority

Rationale: Pooled analyses of childhood leukaemia studies have been very informative. Although new studies would not fundamentally change the results of the previous pooled analyses, recent studies will add new countries and enough data to probe the results further. It might be possible to further explore the high end of the dose-response curve. Additionally, risk modifiers—for example, age—might be further explored. Brain cancer studies have shown inconsistent results; a pooled analysis of brain cancer studies may also be very informative, may inexpensively provide insight into existing data, including the possibility of selection bias, and, if appropriate (i.e., if studies are sufficiently homogeneous), may come up with the best estimate of risk.

- Further studies of ELF exposure and miscarriage. Medium Priority

Rationale: Two recent California studies have reported an increased risk of miscarriage due to maximum levels of ELF exposure, but the studies have areas of potential weakness in study design that can be improved. First we recommend studies to identify behavioural determinants of maximum fields. Further investigation, focusing on early pregnancy loss and using improved design, would also contribute to this area.

2. Volunteer studies

These recommendations address effects for which there is some supporting evidence in studies using adults.

- Laboratory-based studies of cognition and changes in electroencephalograms (EEGs) in children exposed to ELF fields in the laboratory, if ethical approval is possible. High Priority.

Rationale: Studies of adult volunteers and animals suggest that acute cognitive effects may occur with short-term exposures to intense fields. Such effects are very important for the development of exposure guidance (e.g., McKinlay et coll., 2004; WHO ELF Research Agenda) but there is a lack of specific data concerning field-dependent effects in children.

3. Animal studies

These recommendations focus on possible carcinogenic effects, particularly in relation to childhood leukaemia, and effects in key tissues and organs regarded as potentially susceptible to EMFs, particularly the developing central nervous system (CNS), haemopoietic (bone marrow) tissue and immune system. Experimental protocols should include prenatal and/or early postnatal exposure to EMFs.

- Further development and experimental investigation using appropriate animal models, including the use of transgenic animals (e.g., Carron et coll., 2000), which develop a disease having similarities to childhood acute lymphoblastic leukaemia. (Animal studies carried out to date have not used such models.) Experimental studies to include the effects of prenatal exposure and the combined effects of ELF and known carcinogens. High Priority

Rationale: The possible role of EMF exposure in childhood leukaemia development is a priority research area (e.g., AGNIR, 2001; WHO ELF Research Agenda). In addition the combined effects of ELF-EMFs and known chemical or physical carcinogens and/or mutagens have been reported in many studies (IARC, 2002).

- Studies of developmental effects of pre- and postnatal exposure to low-frequency EMFs on immune function and on the induction of minor skeletal variations. Effects of prolonged, intermittent exposure from the early postnatal period on subsequent cognitive function in animals. Medium Priority.

Rationale: An increase in minor skeletal anomalies is the only consistent finding from a number of developmental EMF studies in mammals (e.g., Juutilainen, 2003). The immune system continues to develop postnatally; Study of the effects of ELF fields on this system is thus a useful means to evaluate them as possible immunotoxicants. Behavioural studies with immature animals provide a useful and established model for studying possible cognitive effects in children.

- Further study of possible ELF carcinogenic mechanisms, including exposure to intermittent fields and transients, both alone and in combination with known carcinogens. Low Priority.

Rationale: The possible carcinogenicity of EMFs remains an issue of concern (e.g., IARC, 2002), although the experimental evidence for carcinogenic effects is weak. However, hypotheses such as those involving the role of signal intermittence, transients or contact currents have not been widely investigated and the possibility for co-carcinogenicity must be clarified.

4. In vitro studies

Areas requiring further ELF in vitro study include possible electric field and (contact) current effects on carcinogenic processes, especially pathways involved in haemopoietic cell differentiation and proliferation, and on nerve cell growth and synaptogenesis. In addition, further exploration of the possible role of melatonin in free-radical scavenging is required.

- Studies of ELF magnetic field and induced electric field effects on cell differentiation (e.g., during haemopoiesis in bone marrow) and on nerve cell growth using brain slices or cultured neurons. High Priority.

Rationale: As in the recommended animal studies, possible effects on pre- and post-natal cellular differentiation and tissue development are a priority research area. Cell differentiation is inhibited during neoplastic progression; cell orientation and migration are both key

processes in development. The developing nervous system and bone marrow are thought to be key tissues in this respect.

- Effect of EMF exposure on the protectiveness of physiological levels of melatonin against oxidative damage from free radicals, reactive oxygen species, etc. during haemopoiesis in foetal and postnatal tissue. Medium Priority.

Rationale: Melatonin has been shown to be highly protective against oxidative damage to human lymphocytes in vitro (e.g., Vijayalaxami et coll., 1996, 2004) and similar damage to the brain tissue of rat foetuses in vivo (Wakatsuki et coll., 1999, 2001), possibly by increasing the concentration of known radical scavengers such as superoxidase dismutase (Okatani et coll., 2000). The possibility that EMF exposure may affect the ability of melatonin to suppress oxidative damage in foetal or postnatal tissue should be investigated.

- Further studies of possible carcinogenic mechanisms for ELF fields, particularly in combination with known carcinogens. Low Priority

Rationale: The possible carcinogenicity of EMFs remains an issue of concern (e.g., IARC, 2002), although the experimental evidence for carcinogenic effects is weak. The combined effects of ELF-EMFs and known chemical or physical carcinogens and/or mutagens have been reported in many studies (IARC, 2002). In addition, hypotheses such as those involving the possible role of signal intermittence or transients have not been studied.

5. Dosimetry and exposure assessment

A better understanding of the prevalence of earth leakage currents and the potential consequences of exposure to contact currents in small children (e.g., when bathing), is needed. Work is in progress to examine the prevalence of contact currents in countries other than the United States (e.g., in European and Asian residential electrical systems). If exposure to contact currents is a global issue and some mechanism can be demonstrated, the model should be further examined.

- Dosimetric modelling of the interaction between induced or injected current and juvenile limbs should be undertaken, taking account of reduced surface resistance, lack of bone calcification and the presence of active marrow. High Priority.

Rationale: The extent to which electric current flows through the bone marrow of small children as a consequence of contact which allows an earth leakage current to flow through their bodies should be further studied.

- Assess exposure to the 217-Hz nonsinusoidal magnetic fields from mobile phones. Low Priority

Rationale: The pulsating battery current in a mobile phone generates a low-frequency nonsinusoidal magnetic field (Jokela 2004) in the vicinity of the phone. The field penetrates without any effect on the skin into tissue. Some preliminary estimates show that the resulting exposure to induced currents in the head is not much lower than the ICNIRP limit. Furthermore, it has been suggested that mobile phones are an important source of ELF exposure, particularly to bone marrow in children's hands. More detailed investigation of exposure is necessary to assess exposure quantitatively.

IV RF Fields

1. Epidemiological studies

There is little relevant epidemiology at present that examines health effects in children; the following recommendations address general health effects, including cancers in children who use mobile phones or live near base stations or radio or TV towers.

- Prospective cohort study of children mobile phone users and all health outcomes other than brain cancer (see below) but including more general health outcomes such as cognitive effects and effects on sleep quality. High Priority

Rationale: Since many children are heavy mobile phone users and will continue to be in the future, they represent a unique population. The type of mobile use among children (e.g. text messaging), their potential biologic vulnerability and longer lifetime exposure make such a study desirable. Cognitive effects and other general health outcomes have been anecdotally reported in mobile phone users. They can be assessed in a prospective cohort study of children. A separate study of children was found necessary, as it is not possible to just extend the age range of a cohort study of adults because the outcomes have to be assessed by different methods in children and adults, and children's exposure probably differs from that of adults' (more use of pay-as-you-go SIM-cards, more frequent change of phones and operator).

- Case-control study of children mobile phone users and brain cancer. High Priority

Rationale: Brain cancer is an important end-point to study given the location of the antenna for the phone, but it is rare in children and so this is not likely to be a feasible end-point for a cohort study.

- Nested case control studies of childhood cancer with improved exposure assessment for (1) base stations and (2) TV and radio towers. High Priority

Rationale: There is at present a lack of information concerning health effects associated with living in close proximity to base stations or TV or radio towers. One particular difficulty is exposure assessment. Further investigation into improved measures is a critical step in better capturing exposure from these sources and in determining the feasibility of epidemiological studies of children living in the vicinity of these sources.

2. Volunteer studies

The following recommendations address effects seen in laboratory-based studies using adult volunteers.

- A laboratory-based assessment of effects of RF exposure on cognition, EEGs, and sleep in children is recommended as a part of a larger prospective cohort study (see the Epidemiology section). If ethical approval can be obtained, acute effects on cognition and EEGs should also be investigated in children exposed to RF fields in the laboratory. High Priority.

Rationale: Cognitive effects are a priority research area in RF studies. However there is a paucity of data concerning RF effects on children (Goldstein et coll, 2003; AGNIR, 2003; WHO RF Research Agenda).

3. Animal studies

A large U.S. National Toxicology Program (NTP) rodent (both rats and mice) study is likely to be funded in the near future. The study will examine the toxicity and carcinogenicity of RF radiation characteristic of mobile phones; animals will be exposed in utero and postnatally. A full histopathology

will be carried out, along with assays of endocrine levels, estrus cycling and sperm levels, urinary metabolite patterns (as indicators of physiological perturbation), haematology and genotoxicity (i.e., micronucleus frequency, DNA-strand breaks, etc.). There will be a particular focus on changes in blood-brain-barrier permeability and any concomitant neuropathology. [Tissue may be made available to other research groups; contact: Ron Melnick, e-mail: melnickr@niehs.nih.gov .]

The recommendations given below focus on the developing central nervous system, haematopoietic (bone marrow) tissue and immune system. Experimental protocols should include prenatal and/or early postnatal exposure to EMFs.

- Studies investigating the effects of prolonged exposure of immature animals to RF fields on the development and maturation of the CNS, using behavioural, morphological (e.g., synapse formation) and molecular (e.g., using gene microarrays) endpoints. High Priority.

Rationale: Possible RF effects on children were specifically raised by the UK's Independent Expert Group on Mobile Telephones (IEGMP, 2000); the CNS was considered potentially one of the most susceptible of the various organs and tissues that continue to develop during childhood.

- Effects of prenatal exposure to RF fields on the development and maturation of the blood-brain barrier. [Note that funded work is likely to begin on this topic in the near future; see above.] High Priority

Rationale: Possible effects on the adult blood-brain barrier and the potential for resulting neuropathology have long been a controversial issue in RF research (e.g., IEGMP, 2000; WHO RF Research Agenda). These studies should be extended to cover pre- and postnatal development of the blood-brain barrier. (In humans, this development is complete at approximately 6 months [Rodier, 2004].)

- Studies investigating the effects of prolonged exposure of immature animals to RF fields on the development of the immune system, including microglia cells (resident macrophages) and induction of autoimmunity in the brain. Medium Priority.

Rationale: The immune system also develops during early childhood and is a critical tissue with regard to possible effects of RF exposure. Studies performed in the former USSR showed induction of autoimmunity after exposure to RF fields (Vinogradov, 1993).

4. *In vitro* studies

Studies of possible RF effects on carcinogenic processes, particularly effects on differentiation pathways and haemopoietic tissue, continue to be of interest. In addition, effects on nerve cell growth and synaptogenesis are considered worthy of further research. The possibility that biological tissue can somehow demodulate modulated RF signals to produce biologically significant ELF electric fields and currents has long been a controversial area. Research into this area, based on a recently proposed, very sensitive method of detection, is being funded in the UK (Challis, in press). If real, this effect could have important implications for both childhood and adult exposure. Other mechanistic studies were also recommended.

- Studies of RF effects on cell differentiation, e.g., during haemopoiesis in bone marrow, and on nerve cell growth using brain slices/cultured neurons. High Priority.

Rationale: Cancer cells are generally locked into a rapidly dividing and relatively undifferentiated state, and the possibility that haemopoietic and/or neuronal tissue shows a

growth response to EMF exposure was considered to be an important area for further investigation.

- Continued studies of possible mechanisms of RF interaction. Medium Priority.

Rationale: Research hypotheses based on plausible interaction mechanisms are a key part of the design and execution of animal and epidemiological studies carried out in order to evaluate possible risks to health. There are two hypotheses that are worthy of further investigation (Challis, this issue): (1.) Whether the mechanism leading to an increase in free-radical concentrations that has been demonstrated at frequencies below 80 MHz might also apply at higher frequencies. 2. Whether the above-average temperature rises that might be expected to occur in electrically conducting regions within thermally insulated parts of the body, such as the cochlea and vestibular apparatus, are large enough to cause concern.

5. Dosimetry and exposure assessment

A key issue in this area has been the development of a personal dosimeter in order to greatly improve exposure assessment (for example, around base stations) for epidemiological studies (Wiart, in press). Recommendations were made for improved childhood exposure assessment and dosimetric and thermal modelling.

- Research is needed to document rapidly changing patterns of phone use (SMS, email, classical phone communication, etc.) and exposure of different parts of the body for children and foetuses. High priority

Rationale: This research would be required to complement epidemiological studies. Exposure surveys (in contrast to simple source evaluations) to assess children's exposure are lacking, but urgently needed. Service providers are important sources of information regarding exposure and should be encouraged to participate in exposure surveys and epidemiological studies.

- Dosimetric models of RF energy deposition in children and foetuses, combined with appropriate models of human (childhood) thermoregulatory responses, should be developed. High priority

Rationale: These dosimetric and thermoregulatory models are required in order to predict potential hazards associated with specific RF exposure conditions (Goldstein et coll., 2003; WHO RF Research Agenda). Dosimetric calculations and realistic modelling of exposure to the foetus under various exposure scenarios (e.g., with and without a hands-free device) are needed.

V References

- AGNIR (2001). ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer. Report of and Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Docs NRPB, 12(1). Chilton NRPB.
- AGNIR (2003). Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. Report of and Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Docs NRPB, 14(2). Chilton NRPB.
- Carron C, Cormier F and Janin A et coll. 2000. TEL-JAK2 transgenic mice develop T-cell leukaemia. Blood, 95(12), 3891-3899.

- IARC (2002). Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Monographs on the Carcinogenic Risks to Humans. Volume 80. Lyon, IARC Press.
- IEGMP, 2000. Mobile Phones and Health. Report of an Independent Expert Group on Mobile Phones (Chairman: Sir William Stewart). Chilton, NRPB.
- Juutilainen J. (2003). Developmental effects of extremely low frequency electric and magnetic fields. In: Proceedings of an International Workshop, NRPB, Chilton UK. March 24-25, 2003. Radiat Prot Dosim., 106(4), 385-390.
- McKinlay A F, Allen S G, Cox R, Dimbylow P J, Mann S M, Muirhead C R, Saunders R D, Sienkiewicz Z J, Stather J W, and Wainwright P R., 2004. Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz). Docs NRPB, 15(3), Chilton, NRPB.
- Okatani Y., Wakatsuki A., and Kaneda, C., 2000. Melatonin increases activities of glutathione peroxidase and superoxide dismutase in foetal rat brain. J Pineal Res, 28, 89-96.
- Rodier, P. 2004. Environmental causes of central nervous system maldevelopment. Pediatrics, 113(4), 1076-1083.
- Vijayalaxmi., Reiter, R. J., Herman, T. S. and Meltz, M. L. 1996. Melatonin and radioprotection from genetic damage: In vivo/in vitro studies with human volunteers. Mutation Research, 371, 221 -228.
- Vijayalaxmi, Reiter, R. J. Tan, DX., Herman, T. S., Thomas, C. R., 2004; Melatonin as a radioprotective agent: a review. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, 59, 639-653.
- Vinogradov G. 1993. The phenomenon of autoimmunity from the effects of non-ionizing microwave radiation. In "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", M. Blank, ed., San Francisco Press, Inc., 649-650,
- Wakatsuki A., Okatani, Y., Izumiya, C., and Ikenoue, N., 1999. Melatonin protects against ischemia and reperfusion-induced oxidative lipid and DNA damage in foetal rat brain. J Pineal Res, 26,147-152.
- Wakatsuki A., Okatani, Y., Shinohara, K., Ikenoue, N., Kaneda, C. and Fukaya, T., 2001. Melatonin protects foetal rat brain against oxidative mitochondrial damage. J Pineal Res, 30, 22-28.
- WHO ELF Research Agenda. www.who.int/peh-emf/research/agenda/en
- WHO RF Research Agenda. www.who.int/peh-emf/research/rf03/en

Annexe d : Définition de la PIRE

Une antenne d'émission a pour but de rayonner la puissance qui lui est fournie dans certaines directions de l'espace. Si elle rayonne de la même manière dans absolument toutes les directions, l'antenne est dite isotrope. Une telle antenne n'est pas physiquement réalisable mais elle représente un modèle de référence.

Lorsque l'on utilise une antenne réelle, on se place dans sa direction de rayonnement principal et on s'intéresse en général au flux de puissance à une distance d de l'antenne dans cette direction. On introduit alors une puissance fictive appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente), qui est la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope qui serait située à la place de l'antenne réelle afin d'avoir le même flux de puissance au point de réception considéré (point situé à une distance d dans la direction principale de rayonnement de l'antenne réelle).

L'intérêt de la PIRE est de pouvoir aisément calculer ce flux de puissance (noté ϕ) dans cette direction en divisant simplement la PIRE par la surface d'une sphère de rayon d (centrée sur l'antenne

d'émission) :

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

La PIRE est exprimée en Watt, elle est en fait égale au produit de la puissance fournie à l'antenne par le gain de cette dernière, mais il ne faut pas perdre de vue que c'est une puissance fictive qu'il conviendrait de fournir à une antenne isotrope. Enfin la PIRE n'a de sens que dans la direction de rayonnement principal de l'antenne considérée.



agence française de **sécurité sanitaire** environnementale

27-31 avenue du Général Leclerc

94704 Maisons-Alfort Cedex

Tél. +33 1 56 29 19 30

afsse@afsse.fr

www.afsse.fr

ISBN 2-11-095502-3