

Télécommunications et santé

*Etude réalisée par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)
Pour l'Autorité de régulation des télécommunications*

René de SEZE

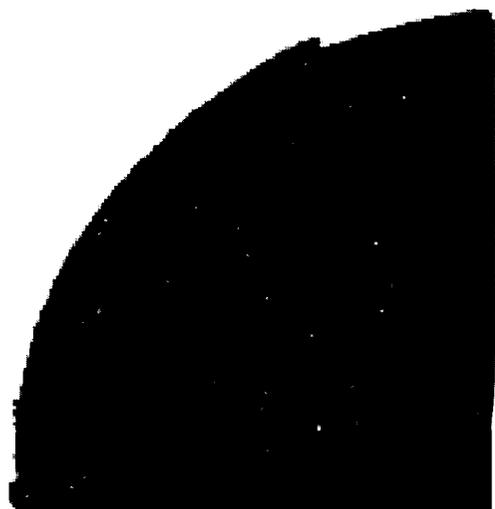
*Laboratoire de Toxicologie Expérimentale
INERIS – Direction des Risques Chroniques*

Ginette VASTEL

INERIS – Direction de la Communication

B. VEYRET et I. LAGROYE

*Laboratoire PIOM du CNRS
Université de Bordeaux 1 - ENSCPB*



TELECOMMUNICATIONS ET SANTE

Rapport final

Autorité de régulation des télécommunications

- Novembre 2002 -

René de SEZE

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	René de SEZE	Ginette VASTEL	Eric VINDIMIAN
Qualité	Ingénieur Direction de Risques Chroniques	Directrice Direction de la communication	Directeur des Risques Chroniques
Visa			

Avertissement

L'Autorité a fait réaliser par la société INERIS une étude bibliographique sur la problématique fréquences et santé qui avait pour objectifs :

- de recenser les résultats des dernières études scientifiques parus en 2001 et 2002 postérieurement à la publication du rapport du docteur Zmirou au début de 2001,
- d'analyser ces données scientifiques au regard des inquiétudes exprimées par le public à l'encontre des équipements et des installations de radiocommunications.

Dans un souci de transparence et d'information ouverte, elle a décidé de rendre publique cette étude.

La méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont de la seule responsabilité de la société INERIS et n'engagent pas l'Autorité.

Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant à faire part de leurs commentaires à l'Autorité.

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi au vu des informations fournies à l'INERIS et compte-tenu des connaissances techniques et scientifiques connues à ce jour.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

L'INERIS ne peut être tenu pour responsable des décisions prises en application de ses propositions ou des conséquences engendrées par le non-respect ou l'interprétation erronée de ses recommandations.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent document intégralement ou de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

Table des matières

1. RESUME	2
2. INTRODUCTION-OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
3. METHODOLOGIE (ANNEXE 1)	2
4. SYNTHESSES	4
4.1 COMMUNICATIONS MEDIATIQUES (ANNEXE 2)	4
4.2 PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES (ANNEXE 3)	4
4.2.1 Cancer – Epidémiologie	5
4.2.2 Cancer - Etudes expérimentales	5
4.2.3 Système nerveux	5
4.2.4 Divers – Reproduction	5
4.3 COMMUNICATIONS EN CONGRES (ANNEXE 4)	5
4.4 TRAVAUX EN COURS	6
5. ORGANISMES ET INSTITUTIONS IMPLIQUES DANS LA THEMATIQUE « CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES ET SANTE »	7
5.1 SOCIETES SCIENTIFIQUES	7
5.2 INSTITUTIONS	7
5.3 ORGANISMES DE NORMALISATION	8
5.4 LIENS UTILES	9
6. GLOSSAIRE	10
7. CONCLUSIONS	14
8. LISTE DES ANNEXES	14

1. RESUME

La grande majorité des études publiées à ce jour sur un risque pour la santé des champs électromagnétiques de la téléphonie mobile, que ce soit par les terminaux ou par les antennes, sont rassurantes.

- **Les antennes**

A l'exception des expositions à proximité immédiate des antennes (dites « en champ proche »), bien prises en compte dans les normes, l'exposition reçue des stations de base est négligeable.

- **Les terminaux**

Quelques travaux expérimentaux récents indiquent des effets potentiellement nocifs à des niveaux supérieurs à ceux produits par les terminaux.

Il convient de préciser ces effets en termes de seuils, de gravité immédiate ou à long terme, et de probabilité en utilisation réelle. L'influence d'autres paramètres d'exposition devra être évaluée, notamment au vu de l'évolution actuelle et prévisible des technologies (fréquence, puissance, répartition du champ dans les différents tissus, position du terminal par rapport à la tête).

Dans tous les cas, si un risque se précisait pour les terminaux, il faudrait immédiatement en avertir le public.

2. INTRODUCTION – OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'Autorité de Régulation des Télécommunications souhaite disposer d'informations actualisées relatives aux télécommunications et à l'environnement. Elle est particulièrement sensible aux inquiétudes exprimées à propos de l'exposition du public aux champs électromagnétiques, inquiétudes parfois contradictoires avec les demandes de complément de couverture qui s'expriment tant pour la téléphonie mobile que par exemple, dans un autre secteur que les télécommunications, pour la télévision.

C'est pourquoi l'Autorité a demandé à l'INERIS, par l'intermédiaire de son expert, le docteur de Seze, de rédiger une synthèse des études publiées et en cours de réalisation sur des risques potentiels, en regard des craintes du public relayées par les média.

Une description des différents acteurs de l'évaluation et de la gestion des risques liés aux champs électromagnétiques : organismes et institutions scientifiques, administratifs et de normalisation, complète la synthèse réalisée, sous forme d'une annexe.

3. METHODOLOGIE (ANNEXE 1)

Les inquiétudes du public ont été identifiées dans les média : journaux, émissions radiodiffusées et télévisées ; dans les documents relevés dans les réunions publiques, émis par les associations ; sur des sites Internet, etc. Puis les données scientifiques ont été évaluées en rapport avec ces inquiétudes.

Les articles princeps de l'évaluation du risque sont issus des journaux scientifiques. En effet, les articles publiés dans les revues scientifiques font l'objet d'une relecture critique par des experts de laboratoires différents de celui de l'auteur, visant à vérifier de leur mieux la bonne compréhensibilité de l'expérimentation rapportée, la description détaillée du protocole et sa qualité, la pertinence des statistiques utilisées et des résultats. Les comités de lecture des revues sont de qualité inégale, et un indice couramment utilisé pour évaluer la qualité d'une revue est son index de citation. Celui-ci est plus révélateur de l'importance de la diffusion que de la qualité de la revue, mais il est de fait que les relecteurs des revues « côtées » sont d'autant plus critiques que la quantité d'articles soumis est plus importante. Il arrive cependant que des articles bien argumentés peuvent être acceptés dans ces revues malgré des erreurs, portant notamment sur l'interprétation des résultats.

Le rapport Zmirou présenté au gouvernement mi-janvier 2001 et rendu public fin janvier a pris en compte toutes les études dont les résultats ont été publiés avant fin 2000. Le document présent fait donc le point sur les études dont les résultats ont été publiés depuis début 2001, ou qui ont été publiés trop tard pour pouvoir être pris en compte dans le rapport Zmirou. D'autres rapports ont été rédigés à l'étranger : outre ceux déjà cités dans le rapport Zmirou, dont celui de Sir W. Stewart au Royaume-Uni, le rapport plus récent du « Comité Champs électromagnétiques » du Conseil Sanitaire des Pays-Bas dirigé par le Dr Roubos conclut qu'il n'existe actuellement pas de processus de démodulation qui pourrait expliquer des effets spécifiques des ELF qui modulent les RF.

Outre les articles déjà nombreux en possession des participants à cette étude, une revue des journaux spécialisés (Bioelectromagnetics Journal, Radiation Research, etc.) et une recherche systématique à base de mots-clés a été effectuée sur les principales bases de données de journaux biomédicaux (Current Contents ; Annexe 1), ainsi que sur les bases de données diffusées les sites web de l'Organisation Mondiale de la Santé dans le cadre de son projet « EMF International Project », et de l'Université d'Aix la Chapelle (FEMU) financée au moins en partie par la Forschung Gemeinschaft Funk (FGF : Association de recherche sur les effets sur la santé des champs électromagnétiques basée en Allemagne). Enfin, la base de données spécialisée sur cette thématique « EMF Database » a été consultée pour les articles parus, mais également pour identifier les résumés de congrès et rapports divers sur les travaux en cours, ainsi que sur les textes réglementaires dans ce domaine.

Les principales études en cours ont également été rapportées avec leurs caractéristiques et la date probable de remise de leurs conclusions. Les sources d'information sur les travaux en cours sont issues de certaines des sources précédemment citées, mais aussi des congrès et réunions scientifiques (Bioelectromagnetics Society : BEMS, European Bioelectromagnetics Association : EBEA, Société Française de RadioProtection : SFRP, Union RadioScientifique Internationale : URSI commission K, ...), des laboratoires avec lesquels collaborent les participants, notamment dans le cadre de projets européens (COST 281, 5^{ème} Programme Commun de Recherche et de Développement), et des réunions d'organismes institutionnels comme la section « Rayonnements Non Ionisants » de la SFRP, la commission européenne, la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP) ou l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Les organismes et sociétés scientifiques impliqués dans l'évaluation des risques liés aux champs électromagnétiques, leur normalisation et la radioprotection adaptée, sont décrits, et leurs références sont indiquées.

4. SYNTHESSES

4.1 COMMUNICATIONS MEDIATIVES (ANNEXE 2)

Des communications alarmistes dans les médias portent aussi bien sur les téléphones mobiles que sur les antennes, mais les réactions d'opposition se focalisent sur les antennes.

Les inquiétudes les plus répandues portent sur le risque de cancer, mais les plaintes les plus fréquemment relayées concernent des symptômes comme des maux de tête et des troubles du sommeil. Des effets biologiques réels ont été observés, tels qu'une modification de l'électroencéphalogramme ou des temps de réaction à des stimuli, une augmentation de l'expression de certains gènes ou de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique.

Les normes sont contestées sur la base de ces effets, qui sont mal interprétés en termes de risques pour la santé ou de niveaux d'exposition : soit que l'amplitude très faible des effets observés ne laisse pas présager un risque pour la santé, soit que les niveaux qui les produisent ne correspondent pas à l'exposition reçue par les utilisateurs. Quelques craintes sont également formulées concernant des risques de malformations ou de troubles de la reproduction, et peu portent sur le système immunitaire.

La presse écrite est plus alarmante que les médias audio-visuels, peut-être parce que les titres accrocheurs jouent un rôle dans la diffusion des journaux auprès du lectorat. Le contenu des émissions radio et télévision est plus factuel et correspond plus à la réalité découlant de l'évaluation scientifique.

L'Annexe 2 sur les communications médiatiques est très volumineuse et est présentée à part du document principal ; elle est introduite par une note de synthèse.

4.2 PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES (ANNEXE 3)

Les articles analysés sont ceux de 2001 et début 2002, ainsi que certains articles tardifs de 2000 non pris en compte dans le rapport Zmirou.

Une synthèse résume les articles, classés selon les thèmes des principales préoccupations relevées dans les médias, à savoir : cancer, en analysant séparément les études épidémiologiques ; système nerveux : comportement et fonctions cognitives (mémoire), sommeil ou fatigue, en analysant séparément les études chez des volontaires ; reproduction et divers. Les effets avérés comme potentiellement nocifs se produisent à des niveaux de champs nettement supérieurs aux recommandations de la Commission Européenne. Des effets hypothétiquement nocifs se produisent à des niveaux qui ne sont pas très supérieurs à ceux résultant de l'utilisation de téléphones mobiles, mais les niveaux sont bien supérieurs à ceux de l'exposition aux champs reçus des antennes.

Il est important de vérifier la portée réelle des effets observés avec les champs des téléphones mobiles et de préciser le seuil de nocivité pour évaluer la marge disponible. L'analyse détaillée de ces articles est présentée dans l'Annexe 3.

Chaque fois que l'origine du financement était indiquée dans un article, elle a été rapportée à la suite de la référence. Dans les autres cas, l'affiliation du premier auteur est indiquée. Tous les contrats industriels dont nous avons connaissance non seulement laissent une grande liberté de communication sur les résultats, mais comprennent une obligation de publier les résultats obtenus.

4.2.1 Cancer – Epidémiologie

La question du risque de cancer s'est posée à partir de cas de tumeurs du cerveau chez des utilisateurs de téléphones mobiles et des procès intentés contre les fabricants de portables. La question reste d'actualité à cause du très grand nombre d'utilisateurs, malgré l'absence de mécanisme identifié par lequel les champs radiofréquences (RF) pourraient accélérer le développement du cancer.

L'approche épidémiologique a été mise en œuvre depuis plusieurs années et toutes les études réalisées jusqu'à présent sur les téléphones mobiles numériques ont été négatives (Muscat, 2000 ; Inskip, 2001 ; Hardell, 1999, 2001 ; Johansen, 2001, 2002 ; Auvinen, 2002). Toutes pèchent par le manque de recul par rapport à la latence du cancer, par la base statistique insuffisante ou la faible qualité de l'évaluation de l'exposition (Nelson, 2001 ; Frey et al, 2002). Une réponse plus précise sera apportée par l'étude Interphone en cours de réalisation qui implique 14 pays et doit se terminer en 2004.

4.2.2 Cancer – Etudes expérimentales

L'ensemble des études publiées à ce jour sur de nombreux modèles animaux ne montrent pas d'effet nocif des différents signaux de la téléphonie mobile sur les processus de cancérisation ou de génotoxicité. Plusieurs de ces études ont été effectuées avec des expositions à long terme, sur toute la durée de vie des animaux.

Seule une étude menée en Australie sur des souris transgéniques s'est révélée positive. Les résultats d'une des études de réplication seront connus prochainement.

4.2.3 Système nerveux

De nombreuses études humaines réalisées avec des téléphones réels ou des émetteurs simulant une exposition réelle montrent des effets sur le système cognitif et l'électroencéphalogramme (EEG).

Les effets observés sont de faible amplitude et peu cohérents entre eux : les temps de réaction sont raccourcis, ce qui va dans le sens d'une activation, tandis que les modifications prédominantes de l'EEG (rythmes alpha plus marqués) accompagnent généralement un état de relaxation.

Des travaux complémentaires semblent cependant nécessaires pour évaluer la persistance des effets ou leur possible accumulation liée à des expositions répétées, et leurs conséquences sanitaires éventuelles. De telles études sont en cours ; c'est le cas de l'étude sur le système cognitif à Montpellier, financée par Bouygues Telecom.

4.2.4 Divers - Reproduction

L'ensemble des autres études ne montre pas de risque pour la reproduction ou le système immunitaire

4.3 COMMUNICATIONS EN CONGRES (ANNEXE 4)

Les communications en congrès annoncent des résultats nouveaux et parfois préliminaires, qui ne sont pas toujours suivies de publications dans les journaux à comité de lecture : le processus de relecture des résumés de congrès ne garantit pas la qualité scientifique des travaux présentés.

Trois sociétés savantes sont principalement concernées par cette thématique : la société de bioélectromagnétisme BEMS (BioElectroMagnetics Society) ; l'Association Européenne de BioélectroMagnétisme EBEM (European BioElectromagnetics Association) ; l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI), dont la section K s'intéresse aux effets biomédicaux des champs électromagnétiques. Au cours de l'année écoulée, la BEMS et l'EBEM ont tenu leurs congrès dont les résultats sont détaillés dans l'annexe 4.

Parmi les communications en congrès, seule l'étude de M. Bastide à Montpellier indique un risque important de mortalité pour des œufs de poulet mis en incubation sous un téléphone mobile en phase d'appel pendant les 21 jours de l'incubation : 60% au lieu de 10% pour le groupe contrôle. Une tentative de réplication actuellement en cours montre que les conditions d'incubation sont très difficiles à reproduire, ce qui ne permet pas jusqu'à présent d'établir la validité des résultats initialement indiqués.

Les Annexes 4° et 4f des résumés de congrès originaux sont volumineuses et sont présentées à part du document principal.

4.4 TRAVAUX EN COURS

De nombreux autres travaux sont en cours dans le cadre du 5^{ème} programme de recherche et développement (5^{ème} PCRD) : INTERPHONE, REFLEX, PERFORM-A, CEMFEC. D'autres viennent de démarrer : RAMP, GUARD. D'autres encore ont été validés par la Commission Européenne, mais ont dû trouver des financements industriels, venant par exemple de la GSMA (Association GSM) et du MMF (Mobile Manufacturer Forum) : PERFORM-B, etc.

Ces projets de grande ampleur couvrent à la fois l'épidémiologie, et les études humaines, animales et cellulaires. La plupart des résultats ne seront disponibles qu'à partir de 2004.

En France, le projet COMOBIO portait sur la certification des téléphones, et sur des études humaines et animales. Actuellement, des études dosimétriques viennent d'être labellisées par le Réseau National de Recherche en Télécommunications (RNRT), et sont financées par le Ministère de l'Industrie. Des études cliniques chez des volontaires pourront être proposées dans le cadre des Projets Hospitaliers de Recherche Clinique (PHRC) du Ministère chargé de la Santé. L'ensemble de ces projets constituerait le programme « COMOBIO Plus ».

A l'étranger, la fondation Elettra 2000 en Italie et l'association de recherche FGF (ForschungsGemeinschaft Funk) en Allemagne financent sur des fonds publics et privés des projets validés par un comité scientifique. Au Royaume-Uni, un programme de grande envergure vient d'être lancé par le gouvernement, avec un financement public et privé à part égale. Des programmes similaires existent en Finlande, en Italie et au Japon depuis plusieurs années. Aux Etats-Unis, l'activité de recherche dans ce domaine s'est pratiquement arrêtée.

- Parmi les travaux en cours, quelques résultats méritent d'être soulignés, issus du programme français COMOBIO et du programme européen REFLEX.

Dans le sous-projet de COMOBIO dirigé par P. Aubineau à Bordeaux, une légère perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique et une inflammation de la dure-mère ont été observées chez le rat à un DAS local moyenné sur le cerveau de 1 W/kg. Cet effet est bien plus important à un DAS de 4 W/kg, et il n'est pas observé à 0,25 W/kg. Le seuil de cet effet, proche de 1 W/kg, nécessite d'être précisé. Le DAS local maximum correspondant est estimé trois fois plus élevé au niveau de la dure-mère, soit 3 W/kg. En comparaison, dans les conditions usuelles d'utilisation d'un téléphone portable émettant à sa puissance maximale, le DAS local maximum au niveau de la dure-mère chez l'homme est estimé à 1 W/kg. Une inflammation de la dure-mère peut se traduire par une migraine ; il faut donc vérifier si on retrouve les effets observés et étudier leur extrapolation à l'homme, en particulier vérifier si le seuil d'inflammation est identique chez l'homme et chez le rat.

Le DAS indiqué dans ces études n'est pas directement comparable à la valeur limite de DAS local de 2 W/kg préconisée par la recommandation européenne 1999/519/CE du 12 juillet 1999 et par l'ICNIRP¹. En effet, cette valeur est moyennée dans les recommandations sur 10 g de tissus contigus, et un tel volume ne correspond pas à des tissus identiques dans des espèces différentes : principalement de la peau, des muscles et de l'os chez l'homme, quasiment toute la tête chez le rat. De plus en général, plus le volume de moyennage est petit, plus la valeur limite peut être élevée.

Dans le programme REFLEX, quelques effets ont été observés in vitro à un DAS local de 1 W/kg sur l'expression de protéines de choc thermique. Ces résultats ne sont pas retrouvés sur des modèles différents dans d'autres laboratoires et demandent à être répliqués indépendamment. Les conséquences de ce type d'effets en termes sanitaires ne sont pas connues.

5. ORGANISMES ET INSTITUTIONS IMPLIQUES DANS LA THEMATIQUE « CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES ET SANTE »

5.1 SOCIETES SCIENTIFIQUES

Les principales sociétés scientifiques de recherche sur les effets biomédicaux des champs électromagnétiques sont la Bioelectromagnetics Society (BEMS) implantée surtout aux Etats-Unis et comprenant environ 500 membres, et l'European Bioelectromagnetics Association (EBEA) en Europe comprenant 170 membres. D'autres sociétés possèdent des sections spécialisées : l'Union Radio Scientifique Internationale (URSI), qui a créé il y a quelques années une commission sur les effets biomédicaux des champs électromagnétiques : la commission K, de même qu'en France la Société Française de RadioProtection (SFRP) comprend une section Rayonnements Non Ionisants (RNI).

Les chercheurs de ces sociétés ont formé le noyau d'actions de concertation européennes (COST 244 et 244bis : « Biomedical effects of electromagnetic fields » et COST 281 : « Emerging technologies – Health effects of electromagnetic fields »), et ont permis la constitution de réseaux pour participer aux projets européens. Huit projets sont ainsi en cours dans le 5^{ème} Programme Cadre de Recherche et de Développement.

5.2 INSTITUTIONS

Différentes institutions impliquées dans la santé mènent des actions sur les champs électromagnétiques.

L'Organisation Mondiale de la Santé dans le cadre de son projet « EMF International Project », fait le point des recherches en cours, identifie les connaissances à compléter, édite des critères de qualité de la recherche et essaie d'harmoniser les normes dans les différents pays. Elle réunit une à deux fois par an les représentants nationaux du Comité Consultatif (« Advisory Committee ») de l'« EMF International Project ».

La direction Santé et Protection du Consommateur (DG SANCO), en association avec la DG ENTR (Entreprises) et la DG INFSO (Société de l'Information), a développé une action de coordination de la recherche sur ce thème au sein du Centre Commun de Recherche européen (CCR ou JRC) d'Ispra près de Milan. Le JRC propose de soumettre un projet intégré sur ce thème dans le cadre du 6^{ème} PCRD.

¹ ICNIRP, 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, 74, 4 : 494-522

Le ministère de la santé a réuni un groupe d'experts sur la téléphonie mobile en 2000 et un autre sur les champs d'extrêmement basses fréquences liées à l'électricité cette année. Le bureau de la DGS en charge de cette thématique est le Bureau des Rayonnements 7D, dans la Sous-Direction 7 : Gestion des Risques des Milieux. Ce bureau a été récemment affecté à l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN).

Deux organismes sont particulièrement impliqués dans cette thématique en France, qui concerne de nombreuses industries. L'INRS possède une équipe à Nancy formée d'un ingénieur et d'une technicienne. Cette équipe fait des mesures, met au point des méthodes de prévention et coordonne un groupe de travail comprenant des ingénieurs des centres interrégionaux de mesures physiques des Caisses Régionales d'Assurance - Maladie (CRAM). Un médecin à Paris répond aux questions des médecins du travail et des personnels de sécurité et administratifs. L'INERIS, avec deux chercheurs et deux étudiants effectue des recherches sur les effets biologiques et sanitaires des champs électromagnétiques. Trois ingénieurs et deux techniciens sont chargés de la mesure et de la conception des systèmes d'exposition.

Au laboratoire CNRS de Physique des Interactions Ondes-Matière (PIOM) à Bordeaux, quinze personnes étudient les effets biologiques et les mécanismes d'interaction des champs électromagnétiques aux niveaux cellulaires et in vivo. Des études sont également menées par trois personnes au Centre de Recherche du Service de Santé des Armées (CRSSA) à Grenoble. Plusieurs autres laboratoires travaillent sur la dosimétrie et les systèmes d'exposition, ou sur les interactions avec les appareils électroniques médicaux (implants actifs) : l'Ecole Supérieure d'Electricité (SUPELEC), le Laboratoire d'Instrumentation et d'Electronique de Nancy (LIEN), l'Institut de Recherche en Communications Optiques et Microondes (IRCOM) à Limoges, l'Ecole Centrale de Lyon, et dans l'industrie France Telecom Recherche et Développement (FT R&D) à Issy-les-Moulineaux, et Alcatel.

5.3 ORGANISMES DE NORMALISATION

Plusieurs organismes publient régulièrement des recommandations concernant la protection sanitaire vis à vis des champs électromagnétiques. Le principal organisme international est la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP), issue de l'Association Internationale de RadioProtection (IRPA). D'autres organismes établissent des recommandations du même type : l'IEEE et l'ACGIH aux Etats-Unis ou le NRPB en Angleterre.

Ces recommandations, qui sont en général des documents scientifiques, peuvent être repris par les Organismes Internationaux chargés de la protection de la santé (O.M.S.), les entités administratives supranationales (Union Européenne) ou par les Etats pour établir des réglementations générales dont les limites spatiales d'application dépendent du niveau qui les a promulgués. Enfin d'autres organismes tels la section RNI de la Société Française de Radioprotection, l'Institut National de Recherche et de Sécurité pour le secteur professionnel, les différents syndicats professionnels en assurent la diffusion, après avoir été parfois consultés pour une relecture préalable.

Par ailleurs ces mêmes recommandations peuvent servir de base à l'établissement de normes génériques, spécifiques, ou de classes d'appareillages, portant sur les procédures de mesures ou de certification des produits, qui sont élaborés par les organismes de Normalisation internationaux (I.S.O. ou C.E.I.), Européens (C.E.N. ou CENELEC) ou Nationaux (AFNOR ou UTE pour la France, ANSI pour les USA).

Il existe actuellement 2 recommandations émanant de l'ICNIRP : une pour les champs statiques datant de 1994 et une pour les champs variables jusqu'à une fréquence de 300 GHz actualisée en 1999. Notons au passage que les questions de compatibilité électromagnétique relatives aux implants actifs et en particulier les stimulateurs cardiaques sont prises en compte dans d'autres normes.

En ce qui concerne l'Union Européenne, une recommandation du Conseil relative à la limitation de l'exposition du Public aux champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz , a été promulguée au JOCE du 30 Juillet 1999 (1999/519/CE).

Par ailleurs, la Direction EMPL (Emploi) prépare la dernière partie de la Directive Agents Physiques pour les travailleurs, qui porte sur les champs électromagnétiques.

5.4 LIENS UTILES

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur les sites des organismes ci-après :

ANFR : www.anfr.fr

ARPANSA : www.arpansa.gov.au

BEMS : www.bioelectromagnetics.org

COST281 : www.cost281.org

DGS : www.sante.gouv.fr

EBEA : www.ebea.org

ELETTRA2000 : www.elettra2000.it

FDA : www.fda.gov/cellphones

FGF : www.fgf.de

ICNIRP : www.icnirp.org

IEEE : <http://grouper.ieee.org>

OMS : www.who.int/peh-emf

Programme de recherche anglais : <http://www.mthr.org.uk>

Programme COMOBIO : <http://tsi.enst.fr/comobio>

MMF : www.mmfai.org

NRPB : www.nrpb.prg

SFRP : www.sfrp.asso.fr

URSI : www.intec.rug.ac.be/ursi

6. GLOSSAIRE

AchE : acétylcholinestérase : enzyme de dégradation de l'acétylcholine, molécule de communication du système nerveux. De telles molécules sont appelées neurotransmetteurs.

ADN : ou DNA en anglais ; Acide DésoxyriboNucléique : molécule de constitution des chromosomes

ARN : ou RNA en anglais ; Acide RiboNucléique : molécule participant à la synthèse des protéines

BBB : Blood-Brain-Barrier = Barrière Hémato-Encéphalique (BHE) : voir le terme BHE

BE : bleu Evan ; colorant des protéines. A l'état normal, les protéines ne traversent pas la barrière hémato-encéphalique et restent dans les vaisseaux ; ce colorant reste donc intra-vasculaire et ne pénètre pas dans le cerveau.

BEMS : Société de Bioélectromagnétisme ; la Société de Bioélectromagnétisme est la première société scientifique étudiant depuis 1979 les effets et les mécanismes d'interaction des champs électromagnétiques avec les organismes vivants.

BHE : Barrière Hémato-Encéphalique : barrière de cellules qui isole le sang des neurones, évitant ainsi le passage d'organismes, de particules ou de molécules qui pourraient être toxiques pour le système nerveux.

cas-témoin : une étude épidémiologique de type « cas-témoin » est une étude rétrospective, dans laquelle un échantillon de sujets présentent une maladie dont on fait l'hypothèse qu'elle peut être due à un facteur, en l'occurrence les champs électromagnétiques ; cet échantillon est comparé à un échantillon de sujets de caractéristiques physiques et sociales similaires, mais qui ne présentent pas la maladie : les témoins. L'exposition est évaluée a posteriori dans ces deux populations, et l'analyse compare l'exposition entre les malades et les témoins. Si elle est significativement plus élevée chez les malades, alors le facteur étudié constitue un facteur de risque.

CDMA : Code Division Multiple Access : accès multiple par division selon un codage particulier

champ lointain : champ à une certaine distance de la source, caractérisé par une relation définie entre les composantes électrique et magnétique du champ

champ proche : à proximité de la source, les composantes électrique et magnétique du champ sont dissociées et ne peuvent pas être extrapolées l'une de l'autre. Elles doivent être mesurées ou calculées séparément

CI : Confidence Interval ou intervalle de confiance ; valeurs théoriques estimées entre lesquelles la valeur réelle recherchée a une grande probabilité (95%) de se trouver

CIRC : Centre International de Recherche contre le Cancer, dépendant de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et situé à Lyon

cohorte : une étude épidémiologique de type « cohorte » est une étude dans laquelle les membres d'une population sont classés selon leur degré d'exposition. Cette classification peut être réalisée a posteriori (étude rétrospective) ou a priori (étude prospective). Puis le pourcentage d'une pathologie donnée (incidence) est déterminé au sein de ces deux populations pour voir si il est significativement plus élevé au sein de la population exposée. Comme les pathologies suspectées d'être provoquées par les champs électromagnétiques ont le plus souvent une incidence (un pourcentage) faible, ce type d'études nécessite des moyennes considérables

COST : COncerted action in the Scientific and Technological domain ; action européenne concertée dans les domaines scientifique et technologique. Dans le domaine des effets biologiques et médicaux des champs électromagnétiques, deux actions COST ont eu lieu de 1992 à 1996 (COST 244) et de 1996 à 2000 (COST 244bis). Une nouvelle action COST orientée sur les technologies émergentes est en cours depuis 2001 : le COST 281.

CRADA : Cooperative Research And Development Agreement

CRSSA : Centre de Recherche du Service de Santé des Armées - Grenoble

CW : Continuous Wave : émission continue (en opposition à une émission par impulsions PW)

DAS : débit d'absorption spécifique. Grandeur de puissance électromagnétique absorbée, en W/kg. On distingue le DAS moyenné sur l'ensemble de l'organisme (« corps entier »), et le DAS local moyenné sur un volume à préciser : 10 g pour l'ICNIRP. La notion de DAS corps entier n'a de sens que pour des expérimentations in vivo ou chez l'homme. Pour toutes les études in vitro, le DAS est forcément le DAS local, en général moyenné sur le volume de l'échantillon, sauf explicitement mentionné différemment : DAS sur un certain volume si inférieur à celui de l'échantillon (ce cas se produit rarement, mais ça pourrait être sur 10 g par exemple), ou DAS pic local = maximum ponctuel : le DAS absolu serait le DAS pic spatial calculé en un point.

DMBA : diméthylbenz[a]anthracène ; le diméthylbenz[a]anthracène est une substance chimique qui induit le cancer chez les animaux qui y sont exposés.

DNA : voir ADN

DSP : densité surfacique de puissance, exprimée en watts par mètre carré (W/m^2) ; grandeur d'exposition, seule accessible dans les travaux anciens. La grandeur pertinente pour les effets biologiques est le débit d'absorption spécifique ou DAS, exprimé en watts (W/kg)

DTX : Discontinuous Transmission mode : mode de transmission discontinue, permet de limiter l'émission de champs RF pendant les périodes d'écoute, et donc l'exposition.

EBEA : Association Européenne de BioElectromagnétisme ; deuxième société scientifique de bioélectromagnétisme, fondée en 1989 pour faciliter les rencontres et les échanges entre scientifiques européens, incluant notamment les scientifiques d'Europe de l'Est.

ELF : Extremely Low Frequencies

EMF : ElectroMagnetic Fields = champs électromagnétiques

FDA : Food and Drug Administration ; organisme américain chargé de la sécurité sanitaire des aliments, des médicaments et par extension de tous matériels et produits

FDMA : Frequency Domain Multiple Access : accès multiple par division (dans le domaine) fréquentielle

FEMU : Laboratoire de biophysique de l'Université d'Aix-la-Chapelle, travaillant sur les interactions des champs électromagnétiques avec les implants actifs (stimulateurs cardiaques) et à l'origine d'une base de données sur la littérature scientifique dont une composante est prévue pour la communication d'informations aux membres du public et des administrations

FGF : Forschung Gemeinschaft Funk ; association de recherche sur les effets sur la santé des champs électromagnétiques, basée en Allemagne et financée par des fonds industriels et gouvernementaux

FM : modulation de fréquence

génomique : ensemble de méthodes permettant d'étudier l'expression des gènes

FT R&D France Telecom Recherche et Développement

GABA : acide gamma-amino-butyrique : molécule de transmission du système nerveux, inhibitrice

Gd-DTPA : gadolinium-DTPA ; molécule marquée au gadolinium, dont les propriétés magnétiques améliorent fortement en IRM le contraste des tissus vascularisés, en particulier les tumeurs et les réactions inflammatoires ou les abcès

GFAP : gliofibrillary acidic protein : protéine de structure de cellules du système nerveux, traduisant un processus inflammatoire

GMSK : Gaussian Minimum Shift Keying : méthode de codage des communications téléphoniques

GSM : Global System for Mobile (Phones) : norme européenne de téléphonie mobile.

GSMA (Association GSM)

GTEM : GHz-TEM : variété tronquée de cellule TEM (voir ce terme)

Gy : gray : unité d'exposition à des rayonnements ionisants

HPLC : high pressure liquid chromatography ; technique sensible et quantitative d'analyse moléculaire

HSP : Heat Shock Proteins = protéines de choc thermique. Ces protéines sont fabriquées lorsque les cellules sont agressées (initialement découvertes sous exposition à un stress thermique)

ICNIRP : International Commission on Non Ionizing Radiation Protection. Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants.

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques ; établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), constituant un institut de recherche et d'expertise du ministère de l'environnement

IRCOM : Institut de Recherche en Communications Optiques et Microondes

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

kDa : kilodalton : unité de taille des protéines

LIEN : Laboratoire d'Instrumentation et d'Electronique de Nancy

MAPK38 : Mitogen-Activated Protein Kinase. Protéine kinase (voir ce mot) d'un poids moléculaire de 38 kDa.

micro noyaux : lésions résiduelles des chromosomes issus de cassures de l'ADN ou de la séparation d'un chromosome du reste du noyau et apparaissant dans les cellules comme un noyau de petite taille (micro noyau) distinct du noyau cellulaire

MMF (Mobile Manufacturer Forum)NMT : système de téléphonie mobile analogique utilisé dans les années 80-90 en Europe du Nord.

MTX : méthotrexate ; molécule anticancéreuse

NaF : fluorure de sodium ; sel fluorescent qui reste normalement dans les vaisseaux. Lorsque la fluorescence est observée dans le tissu cérébral, cela traduit une perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique

neurotransmetteurs : molécules de communication du système nerveux.

NMT : Nordic Mobile Telephone ; système de téléphonie mobile analogique utilisé dans les années 80-90 en Europe du Nord.

NO : monoxyde d'azote : molécule produite dans les phénomènes inflammatoires et présentant des propriétés magnétiques particulières (radicaux libres).

NOS2 : NO synthase inductible : une forme d'une enzyme de synthèse du monoxyde d'azote (voir NO)

NRPB : National Radiological Protection Board : le Bureau National de RadioProtection du Royaume Uni comprend un groupe de dix personnes qui travaillent sur les rayonnements non ionisants, des champs statiques au visible.

ODC : Ornithine DeCarboxylase ; l'Ornithine DéCarboxylase est une enzyme dont l'activité est augmentée dans les processus de prolifération cancéreuse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé ; l'OMS a lancé en 1995 un programme d'étude appelé « International EMF Project » sur les effets biologiques et sanitaires des champs électromagnétiques et leur normalisation

PCS : Personal Communication System : système japonais de téléphonie cellulaire fonctionnant à une fréquence de 1500 MHz

PHA : PhytoHémAgglutinine : substance qui provoque la maturation des lymphocytes à partir de leurs précurseurs les lymphoblastes

PIOM : Physique des Interactions Ondes Matière ; laboratoire CNRS de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie et de Physique (ENSCPB) de l'Université de Bordeaux 1. Ce laboratoire étudie les interactions des champs électromagnétiques avec la matière organique et la matière vivante

protéomique : ensemble de méthodes permettant d'étudier la production des protéines

randomisé : tiré au hasard ; concerne l'ordre de passage ou de réalisation d'un événement dans les études scientifiques. La randomisation est un critère de qualité d'une étude.

PKC : Protéine Kinase C : un type de protéine kinase (voir ce mot)

pps : pulses per second ; nombre d'impulsions par seconde dans une émission par impulsions ; correspond à la fréquence de répétition des impulsions

protéine kinase : enzyme qui modifie la structure de protéines et leur activité

PW : Pulsed Wave : émission par impulsions

PYR : pyridostigmine ; médicament qui inhibe l'acétylcholinestérase (voir ce terme), augmentant ainsi la concentration disponible d'acétylcholine, ce qui favorise la transmission neuro-musculaire

RF : radiofréquence(s)

RNA : RiboNucleic Acid : acide ribonucléique : molécule de synthèse des protéines

RNI : rayonnements non ionisants ou champs électromagnétiques

RNRT : Réseau National de Recherche en Télécommunications

RTL : Radiation Transmission Line. Ligne de transmission de rayonnement = guide d'ondes

SCE : sister chromatid exchange : échange de chromatides sœurs : lors de la division cellulaires, défaut d'appariement de deux fragments d'ADN qui sont échangés entre deux chromosomes

SEP : sclérose en plaques ; maladie du système nerveux se traduisant initialement par des sensations désagréables puis évoluant vers une paralysie progressive

SFRP : Société Française de RadioProtection ; une section de la SFRP s'occupe des champs électromagnétiques également appelés rayonnements non ionisants (RNI)

sham : une exposition sham est une exposition factice qui reproduit le plus fidèlement possible les conditions de l'exposition réelle ; seule l'émission de champ électromagnétique n'a pas lieu. Il est dans ces conditions très important de vérifier que l'émission réelle ne s'accompagne pas d'un échauffement qui pourrait être à l'origine d'un effet observé, échauffement qui ne se produirait pas avec l'exposition factice.

SLA : sclérose latérale amyotrophique ; autre maladie du système nerveux évoluant vers une paralysie progressive

SMP : Software-Modified Phones ; ces SMPs sont des téléphones disponibles dans le commerce, sur lesquels ont été rajoutés de la mémoire supplémentaire et un logiciel permettant de collecter des informations sur la durée et la fréquence des communications, ainsi que sur la puissance émise réelle. Ils ont été préparés pour préciser la dosimétrie des études épidémiologiques (Interphone)

STUK : Radiation and Nuclear Safety Authority ; organisme de radioprotection finlandais

SUPELEC : Ecole Supérieure d'Electricité

TC : test des comètes : un noyau dont les molécules d'ADN sont rompues prend une forme de comète lorsqu'il est placé dans un champ électrique intense, tandis qu'un noyau intact placé dans les mêmes conditions reste arrondi.

TDMA : Time Domain Multiple Access : accès multiple par division (dans le domaine) temporelle

TEM : Transverse ElectroMagnetic : mode de propagation des ondes dans une cellule ou un guide d'ondes.

TPA : ester de phorbol, agent qui favorise le développement cancéreux de cellules transformées. Les substances qui produisent la transformation sont appelée « initiateurs » ; celles qui favorise le développement cancéreux sont appelées « promoteurs »

URSI : Union of RadioScience International ; société scientifique étudiant les aspects physiques des champs électromagnétiques, en particulier dans le domaine des radiocommunication. La section K de l'URSI créée il y a quelques années étudie les effets biologiques et médicaux des champs électromagnétiques

UVB : Ultra-Violets B ; les rayonnements ultra-violets sont classés selon leur fréquence croissante UVA, UVB, UVC.

WTR : Wireless Telecommunications Resort : Fondation pour la recherche des effets de la téléphonie mobile

7. CONCLUSIONS

La grande majorité des études publiées à ce jour par rapport à un risque pour la santé des champs électromagnétiques de la téléphonie mobile, que ce soit par les terminaux ou par les antennes, sont rassurantes.

A l'exception des expositions à proximité immédiate des antennes (dites « en champ proche »), bien prises en compte dans les normes, l'exposition reçue des stations de base est négligeable.

Quelques travaux expérimentaux récents indiquent des effets potentiellement nocifs à des niveaux supérieurs à ceux produits par les terminaux. Il convient de préciser ces effets en termes de seuils, de gravité immédiate ou à long terme, et de probabilité en utilisation réelle. L'influence d'autres paramètres d'exposition devra être évaluée, notamment au vu de l'évolution actuelle et prévisible des technologies (fréquence, puissance, répartition du champ dans les différents tissus, position du terminal par rapport à la tête).

Dans tous les cas, si un risque se précisait pour les terminaux, il faudrait immédiatement en avertir le public.

8. LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Stratégie bibliographique

Description de la stratégie de recherche des travaux scientifiques

Annexe 2 - Communications médiatiques

Dossier sur les communications médiatiques

Annexe 3 - Analyse critique détaillée des articles publiés

Liste des articles scientifiques, par ordre alphabétique

Annexe 4 - Communications en congrès

Synthèses et résumés des communications scientifiques en congrès

Annexe 5 - Principes d'établissement des normes par l'ICNIRP

ANNEXE 1

STRATEGIE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Stratégie globale utilisée

1.1 RECHERCHE DANS LES CURRENT CONTENTS

La recherche se fait en direct sur le site web des Current Contents :

<http://ccc.isiglobalnet.com/CCC.cgi> .

Dans un premier temps, une série de mots concernant la thématique concernée et quelques synonymes sont identifiés. Une première recherche est lancée, sur plusieurs années, pour tester la cohérence de l'équation de recherche, en fonction des articles connus qui sont attendus de cette recherche.

Les mots sont corrigés en fonction des résultats de cette recherche, par excès ou par défaut. Des synonymes sont ajoutés, basés sur les mots-clés identifiés dans ces résultats. La recherche est lancée une deuxième fois avec ces résultats, permettant de vérifier la cohérence de l'équation de recherche avec les articles attendus.

1.2 RECHERCHE DANS LES AUTRES SOURCES DE REFERENCES

Les références trouvées sont comparées avec les bases de données spécialisées du PIOM, de l'OMS, du FEMU et EMF Database selon la même stratégie.

La cohérence des résultats est examinée, et en cas de différence, les causes en sont analysées pour identifier les moyens de trouver les références complémentaires.

L'équation de recherche affinée par ces deux étapes est lancée sur l'année 2001 et le début de l'année 2002.

1.3 CONSTITUTION DES FICHIERS DE REFERENCE

Les résultats sont exportés par thème dans des fichiers Endnote pour exploitation ultérieure. Les articles éventuellement manquants dans notre unité sont commandés pour analyse.

Stratégie concrète

Le symbole ? permet de remplacer une lettre incertaine ; le symbole * permet la troncature (y compris pour les pluriels) ou le remplacement d'une ou plusieurs lettres en milieu ou en fin de mot. Le mot same permet de trouver deux mots à proximité l'un de l'autre.

Les mots-clés initialement utilisés pour la première recherche sont :

Pour le facteur d'exposition :
- phone ou telephone
- GSM
- radiofrequenc* ou microwave*

Pour le type d'étude :
- epidemiology

Pour le thème des effets biologiques ou sanitaires, trois grands chapitres sont identifiés :

1. Les pathologies cancéreuses :
 - cancer
2. Les pathologies de la reproduction :
 - malformation* ou abnormalit* or reproduct*
3. Les pathologies du système nerveux :
 - nervous same system

Après la première recherche, les mots-clés utilisés pour la seconde recherche sont :

Pour le facteur d'exposition :
- phone*, mobile phone* ou cellular telephone*
- GSM ou UMTS ou CDMA
- radio same frequenc*¹ ou micro same wave*

Pour le type d'étude :
- epidemiology or case-control or cohort
- human same stud*

Pour le thème des effets biologiques ou sanitaires, trois grands chapitres sont identifiés :

1. Les pathologies cancéreuses :
 - cancer
 - tum*r*²
2. Les pathologies de la reproduction :
 - malformation* ou abnormalit* or reproduct*
3. Les pathologies du système nerveux :

¹ Le mot radiofrequency peut s'écrire en un ou deux mots, de même pour microwave

² tumor ou tumour

- nervous same system
- neurol*

ANNEXE 2

COMMUNICATIONS MEDIATIQUES

L'Annexe 2 sur les communications médiatiques est très volumineuse et est présentée à part du document principal.

Note de synthèse

....

Nous avons réalisé une étude sur un corpus de presse écrite et audiovisuelle, constitué par la Société PRESS + qui est chargée de notre revue de presse quotidienne. Nous avons ajouté à ce corpus l'étude de quelques sites Internet.

Nous avons classé les articles de presse écrite en fonction des grandes tendances du discours journalistique. En ce qui concerne la presse audiovisuelle et Internet, le classement est plus simple discours factuel ou non.

Cette différence s'explique par le fonctionnement propre de la presse écrite et de la presse audiovisuelle. En effet, dans le cas des journaux, les cibles de lecteurs sont variées, les articles sont donc plus différenciés et les titres accrocheurs jouent un rôle important sur le lectorat. Dans l'autre cas, Radio, Télé, les cibles sont larges, le temps de parole court, le discours moins différencié et plus factuel.

Nous nous sommes intéressés aussi à une autre classification par grandes pathologies. Quel que soit le média étudié, la maladie liée à l'utilisation du portable la plus souvent citée est le cancer. Ensuite on trouve dans l'ordre les maux de tête et les troubles du sommeil puis la reproduction. L'immunité est peu citée dans les articles.

La dramatisation du discours : 13/75 articles, soit 17, 30 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête		Reproduction	Immunité	Mémoire	
						Sommeil	Malformation	Comportement		Autres	
MOBILES MAGAZINE	01/10/00	Téléphoner nuit gravement...	x	x							x
NEWBIZ	01/04/01	Le mobile est il dangereux		x	x	x		x			x
LA REPUBLIQUE DU CENTRE	07/02/01	L'inquiétude fait école	x								
LE PARTICULIER	01/06/01	Antennes-relais, une installation à surveiller	x								
LE FIGARO	30/06/01	Les champs magnétiques sont-ils cancérogènes ?	x	x	Leucémie						
NICE MATIN	05/06/01	Un front contre les antennes relais	x								
LE PARISIEN	02/08/01	Les voisins des antennes portent plainte	x								
LA DEPECHE DU MIDI	06/10/01	Mobiles : les antennes relais inquiètent		x							
MARIANNE	15/10/01	Téléphones mobiles à manier avec précaution		x	x						
MICRO HEBDO	22/11/01	Les mobiles sont-ils dangereux ?	x	x							
NEWBIZ	01/01/02	Cernés par les ondes I	x	x	Leucémie			x(poulet)		x(portable)	
FEMME ACTUELLE	28/01/02	Les ondes magnétiques sont-elles dangereuses ?	x	x	x					x	
SCIENCES AVENIR	01/05/01	Les antennes au purgatoire.	x		x		x				x

L'incrédulité du public, le système de protection : 2/75 articles, soit 2, 70 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête		Reproduction	Immunité	Mémoire	
						Sommeil	Malformation	Comportement		Autres	
LA CROIX	12/06/01	Nokia, Ericsson et Motorola font breveter des portables anti-cancer	x	x							
COURRIER INTERNATIONAL	27/06/01	Au rayon futur maman, des robes antiradiations	x	x	Leucémie			x		x	

Le refus, le rejet : 7/75 articles, soit 9, 30 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête	Reproduction	Immunité	Mémoire	Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement	
LE PROGRES	15/08/01	Fausse cheminée, mais vraie antenne portable	x	x	x					
LA PROVENCE	08/11/01	Les antennes relais sous haute surveillance	x							
LE PROGRES	10/02/01	Radio : quand les ondes polluent	x	x	Leucémie					
ALTERNATIVE SANTE	01/03/01	Pas sûrs, les toits ?	x	x		x	x		x	Fatigue
LIBERATION	14/02/01	Portables : les antennes relais décriées sur tous les toits		x						
TRANSFERT	01/05/01	Mauvaises ondes pour les portables		x						Fatigue
FRANCE SOIR	04/04/02	Les antennes-relais de la colère	x			x			x	x

Le discours guerrier : 3/75 articles, soit 4 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête	Reproduction	Immunité	Mémoire	Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement	
LE FIGARO	30/05/01	Une antenne relais de portable vaincue	x							
OUEST France	20/11/00	Les champs magnétiques sont partout	x	x	x	x		x		
SUD OUEST	09/10/00	Les ondes brouillent le dialogue	x	x	x				x	

Le discours normatif : 8/75 articles, soit 10, 70 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête	Reproduction	Immunité	Mémoire	Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement	
60 millions de consommateurs	01/09/01	Une norme européenne sur le rayonnement des portables		x						
LA TRIBUNE	19/10/01	Le gouvernement calme le jeu sur les relais radio	x							
LE PROGRES	27/12/01	Le sacro-saint portable est il malsain ?		x						
LA TRIBUNE	26/07/01	La France s'adapte à l'Europe en matière de télécommunications	x	x						
LSA	04/10/01	Téléphone portable : nouvelle norme européenne		x						
SUD OUEST	09/10/00	En Europe et chez nos voisins		x						
REUTERS	25/07/01	Les émetteurs de téléphonie mobile sous surveillance		x						
LE PROGRES	15/08/01	Opérateur cherche toit d'immeuble	x							

Le discours rassurant : 10/75 articles, soit 13, 30 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête	Reproduction	Immunité	Mémoire	Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement	
AUJOURD'HUI	30/01/01	Les portables ne seraient pas dangereux		x						
LE PROGRES	08/02/01	Téléphone portable : pas de risque identifié		x		x				
LA TRIBUNE	08/02/01	L'utilisation de téléphones portables ne présente pas de risque de cancer		x	x					
L'HUMANITE	08/02/01	Ils ont dit ...		x	x					
L'EST REPUBLICAIN	20/12/01	La peur des antennes-relais : pas fondée !	x							x
AUJOURD'HUI	20/12/01	Portables : les antennes relais sont sans danger	x							
NORD ECLAIR	16/12/01	Le téléphone portable n'est pas cancérigène		x	x					
LA MONTAGNE	09/02/01	Portables : pas de risque de cancer		x	x					
LA NOUVELLE REPUBLIQUE	08/02/01	Cancer et portable : pas de risque		x	x	x				
LE DAUPHINE	08/02/01	Téléphone portable : pas de risque de cancer		x	x					

Le discours de la précaution : 12/75 articles, soit 16+A71 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête	Reproduction	Immunité	Mémoire	Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement	
LE MONDE	30/01/01	Téléphones portables : les scientifiques préconisent une utilisation prudente		x	x	x				
LE PROGRES	30/01/01	Téléphones portables : le principe de précaution		x	x					x
QUEST France	08/02/01	Téléphone portable et santé : la prudence préconisée		x	x	x				x
NICE MATIN	08/02/01	Le "principe de précaution" faute de certitudes		x			x			
QUE CHOISIR	01/03/01	L'expertise se précise		x	x					
60 millions de consommateurs	01/07/01	Téléphone mobile : les antennes en questions	x							
LE DAUPHINE	22/11/01	La mairie de Grenoble	x							
01 INFORMATIQUE	14/12/01	GSM et santé : des normes pour un principe de précaution	x	x	x					x
LE PROGRES	27/12/01	Téléphones portables+C83 : l'onde de choc de l'enquête lyonnaise		x						
L'ARGUS	12/01/01	Ces fantomes qui hantent les contrats		x	x	x	x			x
Le JOURNAL DU DIMANCHE	17/03/02	Ces portables placés sous surveillance.		x		x	x			
AUJOURD'HUI	18/03/02	Portable : à utiliser avec modération.		x		x	x			x

JOURNAUX

Le discours interrogatif : 20/75 articles, soit 26, 70 %			Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête		Reproduction		Immunité	Mémoire		Autres
						Sommeil	Malformation		Comportement				
LA RECHERCHE	01/12/00	Ondes : quelle raison d'avoir peur ?		x	x								
60 millions de consommateurs	01/02/01	Les téléphones portables sont ils dangereux pour la santé ?		x	x	x		x		x	x		x
NICE MATIN	16/07/01	Antennes-relais : premiers relevés à Nice	x										
LE QUOTIDIEN DE LA NET ECONOMIE ET DES TELECOM	26/07/01	Téléphonie mobile : les émetteurs sous haute surveillance		x									
LE COURRIER DES MAIRES ET DES ELUS LOCAUX	01/09/01	Faut-il se protéger des antennes ? Fouillis et controverses	x										x
MOBILES MAGAZINE	01/10/01	Contre le danger fantôme, le principe de précaution	x	x									x
LE PARTICULIER	01/10/01	Santé : l'habitat en question	x										x
SVM	01/11/01	Santé : vous êtes cernés par les ondes !	x	x	x								
LE JOURNAL DES TELECOM	01/12/01	Mobiles et santé : attention au principe de précaution !		x									
SCIENCES ET AVENIR	01/12/01	Sur la piste des Elf	x	x		x					x		x
REPONSES SANTE	01/11/01	Halle aux rumeurs !	x	x	x	x				x	x		x
SCIENCES ET AVENIR	01/12/01	Effets biologiques des Elf		x	x								x
ALTERNATIVES SANTE - L'IMPATIENT	01/11/01	Portables, antennes-relais	x	x	x	x		x					x
LE BIEN PUBLIC	04/12/01	Ondes discordantes	x										
AFP	19/12/01	Téléphonie mobile : une étude défend la sécurité des antennes relais	x										
L'EST REPUBLICAIN	20/12/01	Mesuré en volts par mètre	x										
LE PROGRES	02/03/02	Téléphones portables+C110 : vers une meilleure information		x									
LA CORRESPONDANCE ECONOMIQUE	03/04/02	Informations/téléphones portables		x									
LE FIGARO	18/03/02	De l'usage du téléphone portable.		x		x		x					
DNA	14/01/01	Téléphone mobile : méfiance au pied des antennes.	x		x	x							

75 articles :

Cancer	40%	Reproduction - Malformation	14, 7%	Mémoire - Comportement	12%
Maux de tête - sommeil	24%	Immunité	4%	Autres	26, 7%

67 articles [maladies] sur 75 :

Cancer	44, 8%	Reproduction - Malformation	16, 4%	Mémoire - Comportement	11, 9%
Maux de tête - sommeil	26, 9%	Immunité	4, 48%	Autres	29, 8 %

INTERNET

Adresses Web	Titres	Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête Sommeil	Reproduction Malformation	Immunité	Mémoire Comportement	Autres	Résultats
http://www.antenne.ch	Téléphonie mobile et santé	X	X	X		X		X	X	
http://www.anfr.fr/sante/publications/plaquette_sante.pdf	Les antennes relais de la téléphonie mobile et les inquiétudes pour la santé publique	X	X						X	
http://www.medecine-douces.com/impatient/286fev02/telephone.htm	Téléphonie mobile. Les dangers des antennes relais confirmés	X		X	X			X	X	Alarmiste
http://www.sante.gouv.fr/hlm/actu/sssp011205/securite23.htm	Renforcement de la vigilance et de la convention vis-à-vis de l'implantation des émetteurs de téléphonie mobile	X							X	
http://www.bouygtel.com/sante/lemot.htm	Radiofréquences et Santé : Bouygues Telecom	X							X	
http://www.globenet.org/ape/electro/electromedia52.htm	Le ministère de la santé appelle les usagers de portables à la modération		X	X				X	X	
http://www.senat.fr/leg/pp100-302.html	Protection des populations résidant à proximité des stations radioélectriques de téléphonie mobile	X		X	X				X	
http://www.arhImpacacorse.com/biblio.php?numrub=2&numsrub=27	Téléphonie mobile et leurs antennes relais : effets sur la santé	X	X	X	X				X	
http://fr.gsmbox/news/mobile_news/all/11052.gsmbox	Mobiles et santé : une équation pour l'instant insoluble		X						X	
http://priartem.nexenservices.com/	Les effets des antennes relais sur la santé	X							X	
http://www.aci-multimedia.net/feminin/telephone_portable2.htm	Le téléphone portable		X	X	X				X	Alarmiste
http://membres.lycos.fr/corruptn/10.htm	Les effets des téléphones portables sur la santé		X	X	X	X			X	Alarmiste
http://membres.lycos.fr/chaudfontaine	[site perso belge]	X							X	

Cancer 55%
Maux de tête - sommeil 47%
Reproduction - Malformation 17%
Mémoire - Comportement 25%
Autres 100%

Les sites recensés ici sont plutôt factuels, sauf 3 qui ont une tendance un peu alarmiste.

RADIOS

Radios	Dates	Intervenants	Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête Sommeil	Reproduction Malformation	Immunité	Mémoire Comportement	Autres	Résultats
RMC	30/11/01	N. Grebert - A. Aschieri	x	x	x	x	x		x	x	Alarmiste
Europe 1	30/12/01	C. Delay - L. Abenhaim		x			x			x	
Europe 1 "Europe plus"	22/11/01	F. Caujour - D.Catelin	x	x		x	x				Doute
RTL "Les auditeurs ont la parole"	08/02/02	C. Hondelatte	x	x	x	x					Alarmiste
France Inter "Le téléphone sonne"	01/02/01	A. Bedouet - M.J. Husset - B. Dupre - F. Joure-Guiberry	x	x	x		x				
France Info "France info reportage"	18/03/02	B. Thomasson - L. Gauriat M. Moinnier - B. Kouchner	x	x		x	x				
France culture "Visite médicale"	08/03/01	B. Falissard	x	x	x				x		
Europe 1	19/12/01	C. Delay - C.Pierret	x	x		x					
BFM	07/02/01	L. Valade		x	x					x	

Cancer 57%
Maux de tête - sommeil 57%
Reproduction - Malformation 57%
Mémoire - Comportement 25%
Autres 33%

Pour l'ensemble des radios le discours est factuel, sauf 2 un peu alarmiste et 1 qui génère le doute.

Chaînes	Dates	Intervenants	Antennes	Portables	Cancer	Maux de tête Sommeil	Reproduction Malformation	Immunité	Mémoire Comportement	Autres
France 2 (JT)	18/03/02	Bilalian D. - Kouchner B.	x	x	x		x			
France 3 (JT)	12/07/01	Matausch C. - Hovasse F. - Kefs M. - Madore M. - Larivière C. - Bouillet JC	x			x			x	x
TF1 (JT)	29/01/01	Poivre d'Arvor P. - Labo C. - Abenheim L.		x	x		x			
LCI "on en parle"	15/01/01	Expert V. - Rabilloud F. - de Sèze R. - Malkin M. - Aubineau P. - Leleu P. - Moulin C. - Fossier M.	x	x	x	x	x		x	x
TF1 (JT)	18/03/02	Legros J. - Wambergue C. - Goldberg M.	x	x	x					
France 3 "Journal des journaux"	12/11/01	Agius C. - Bouisset C. - Robert A.	x		x				x	
France 3 (JT)	18/03/02	Mataush C. - Ganier E. - Zmirou D.		x			x			
France 2 (JT)	12/07/01	Ostoloza L. - Thevenet B. - Goldberg M.	x	x	x					
I télévision "I magazine"	04/09/01	Beaufort CE - Itier R. - Lentin JP	Factuel	x	x	x				x
France 5 "C dans l'air"	06/02/02	Calvi Y. - Papillon F. - Lhullier P.	Factuel	x	x	x				x

Cancer 90%
 Maux de tête - sommeil 40%
 Reproduction - Malformation 40%

Mémoire - Comportement 30%
 Autres 40%

Pour l'ensemble des chaînes, le discours est relativement factuel, il relate les doutes sauf pour France 5 "C dans l'air" qui présente une dramatisation.

ANNEXE 3

ANALYSE CRITIQUE DÉTAILLÉE DES ARTICLES PUBLIÉS



Sommaire

1. CANCER – GENERALITES.....	32
2. CANCER – ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES.....	32
3. CANCER – ETUDES EXPERIMENTALES	35
4. GENOTOXICITE.....	36
5. SYSTEME NERVEUX - ETUDES HUMAINES.....	40
6. SYSTEME NERVEUX - ETUDES EXPERIMENTALES	44
7. DOSIMETRIE.....	45
8. DIVERS	46
9. PUBLICATIONS SANS COMITE DE LECTURE SCIENTIFIQUE.....	50
10. LISTE DES REFERENCES	50

1. Cancer – Généralités

1.1 HEALTH RISKS FROM THE USE OF MOBILE PHONES.

Repacholi MH Toxicol Lett, 2001, 120, 323-331 - OMS

Dans cet article de revue, l'auteur qui était jusqu'en 2001, le responsable du programme EMF à l'OMS, détaille le contexte de la problématique "téléphonie mobile et santé". Son texte est basé sur les conclusions du rapport d'expert anglais (rapport " Stewart " 2000). La question de l'induction du cancer y est particulièrement développée, mais sans rapport notable avec la téléphonie mobile.

2. Cancer – Etudes épidémiologiques

2.1 CELLULAR TELEPHONES AND CANCER - A NATIONWIDE COHORT STUDY IN DENMARK

Johansen C, McLaughlin J, Olsen J., J Natl Cancer Inst, 2001, 93, 203-207

Funding: TeleDanmarkMobil; Sonofon; International Epidemiology Inst., Rockville, MD; Danish Cancer Society

Les auteurs danois ont réalisé une étude cohorte rétrospective sur le cancer chez des utilisateurs de téléphones mobiles durant la période de 1982 à 1995 (c'est-à-dire que deux groupes ont été choisis en fonction de leur niveau d'exposition et l'incidence de divers types de cancer évaluée a posteriori). Grâce à la coopération des deux opérateurs danois de téléphonie mobile, 420.095 utilisateurs ont été identifiés. Les registres du cancer danois étaient utilisés pour déterminer les cas de cancer. Au total 3.391 cancers ont été identifiés (au lieu de 3.825 attendus soit un rapport de 89%). Aucun excès de tumeurs du cerveau, du système nerveux ou des glandes salivaires n'a été observé. Le taux de leucémie n'était pas non plus affecté. Le risque pour tous ces cancers ne semblait pas évoluer avec la durée d'utilisation des téléphones mobiles, la date du premier abonnement ni l'âge ni le type de téléphone mobile (analogique ou GSM). Dans cette première étude épidémiologique effectuée à l'échelle d'un pays entier, aucune association n'a été mise en évidence entre l'utilisation du téléphone mobile et diverses formes de cancer. Le reproche fait à cette étude est la trop faible latence due à l'introduction tardive généralisée des téléphones mobiles.

2.2 CELLULAR PHONES AND RISK OF BRAIN TUMORS

Frumkin H, Gansler T, Thun MJ, *CA Cancer J Clin*, 2001, 51, 137-141 - Dept. of Environmental and Occupational Health, Atlanta, USA

En introduction à un texte officiel de la Food and Drug Administration sur l'usage des téléphones mobiles, les auteurs rappellent que les études récentes de type épidémiologique n'ont pas mis en évidence d'effets délétères, et que des mesures simples permettent aux utilisateurs de diminuer leur exposition (utilisation de kit main-libre, d'antenne extérieure dans une voiture, de téléphone mobile de type numérique par opposition aux téléphones analogiques (aux USA)).

2.3 RECENT STUDIES SHOW CELL PHONE USE IS NOT ASSOCIATED WITH INCREASED CANCER RISK.

Nelson N *J Natl Cancer Inst*, 2001, 93, 170-172

A la suite de la publication des trois études épidémiologiques de Muscat, Inskip (couvrant la période 1994 à 1998) et Johansen, l'auteur se félicite des conclusions négatives de ces trois articles. Il rappelle que la question reste importante en raison de la nouveauté de la technologie et du nombre élevé d'utilisateurs. Le fait que l'introduction des téléphones mobiles numériques soit récente limite les conclusions de ces études à cause de la faible durée de l'exposition et de la latence du cancer. Dans le cas de l'étude cohorte de Johansen, l'évaluation de l'exposition malgré l'aide procurée par les opérateurs était peu fiable. La conclusion de l'auteur est que le risque nul n'est pas démontrable mais que beaucoup de personnes sont prêtes à continuer à utiliser leur téléphone mobile même si un risque faible était démontré.

2.4 HOLD THE (CELL) PHONE...

Frey AH *Science*, 2002, 295, 440-441 - Randomline, Inc., Potomac, USA

Dans ce commentaire paru dans la revue *Science*, l'auteur américain qui est l'un des pionniers de la recherche en bioélectromagnétisme critique les conclusions rassurantes de M. Parascandola (*Science*, 16 novembre 2001, p. 1440) sur les résultats épidémiologiques récents concernant les téléphones mobiles. La première critique, fondée, concerne la comparaison par Rothman entre les utilisateurs de téléphones de voiture : l'antenne est sur le toit du véhicule, loin du corps ; et les téléphones portatifs (également situés loin du corps). Dans les deux situations l'exposition est réduite et la pertinence en terme de santé publique faible. Dans une étude ultérieure de Muscat, sur les 469 cas, seuls 66 étaient utilisateurs de téléphones mobiles. Dans l'étude d'Inskip, parmi les 782 cas (personnes téléphonant plus d'une heure par jour pendant au moins 5 ans), seuls 40 disposaient d'un téléphone mobile. Il est exact que ces nombres sont trop faibles pour assurer une puissance statistique suffisante et permettre de détecter un risque faible. Dans l'étude danoise (Johansen), il est reproché aux auteurs de ne pas avoir fait la part entre utilisateurs de téléphones portables et

mobiles. Cela est exact mais, à partir de 1994, le nombre de téléphones mobiles GSM a crû rapidement et est devenu majoritaire. Dans sa réponse, M. Parascandola reconnaît la difficulté à estimer l'exposition a posteriori et admet que des réponses définitives ne viendront de l'épidémiologie que dans quelques années (cf. étude du CIRC).

2.5 THE POSSIBLE ROLE OF RADIOFREQUENCY RADIATION IN THE DEVELOPMENT OF UVEAL MELANOMA

Stang A, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Joeckel KH, *Epidemiology*, 2001, 12, 7-12

Funding: Federal Ministry for Education and Res., Germany, Bundesministerium für Bildung und Forschung Grant No. 01HP 684/8

Une étude épidémiologique de type cas-témoins a été conduite en Allemagne sur le mélanome de l'uvée en association avec les expositions professionnelles. L'étude porte sur 118 cas. Un risque accru a été déterminé pour les personnes exposées aux téléphones mobiles (risque relatif de 4,2 avec un intervalle de confiance de 1,2-14,5). Les autres sources de champs électromagnétiques (lignes HT, radars, etc.) n'induisaient pas d'augmentation du risque. Des faiblesses structurales de l'étude sont reconnues par les auteurs et l'article de Johansen au Danemark ne confirme pas ces résultats.

2.6 MOBILE PHONES AND MALIGNANT MELANOMA OF THE EYE

Johansen C, McLaughlin JK, Christensen HC and Olsen JH., *British Journal of Cancer*, 2002, 86, 348- 349 - *Int Epidemiol Inst*, Rockville, USA

A la suite des travaux de Stang en Allemagne en 2001, les auteurs ont comparé l'incidence de cette forme rare de cancer qu'est le mélanome de la cornée au développement de la téléphonie mobile au Danemark. Ils n'ont pas constaté de tendance à l'augmentation du nombre de cas tandis que le nombre de téléphones mobiles croissait exponentiellement durant cette période (début des années 80). Leur étude ne confirme pas l'hypothèse de Stang et collaborateurs.

2.7 BRAIN TUMORS AND SALIVARY GLAND CANCERS AMONG CELLULAR TELEPHONE USERS

Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R and Koskela R-S *Epidemiology*, 2002, 13: 356-359 - *Finnish Cancer Registry and Radiation and Nuclear Safety Authority*, Helsinki, Finland

Il s'agit de la plus récente des études épidémiologiques sur les téléphones mobiles et les cancers de la tête et du cou. Dans cette étude finlandaise de type cas-témoins basée sur le registres du cancer, 398 cas de tumeur du cerveau (198 gliomes, 129 méningiomes et 72 autres cancers, en excluant les lymphomes) et 34 de cancer de la glande salivaire ont été diagnostiqués en 1996 en Finlande chez des patients âgés de 20 à 69 ans. Cinq contrôles étaient choisis par cas. Les données sur l'utilisation

des téléphones mobiles était fournie par les opérateurs finlandais. Les téléphones mobiles étaient de type analogique (NMT) ou numérique (GSM), avec une porteuse à 900 MHz dans les deux cas. Au total, aucune association n'a été trouvée entre utilisation des téléphones mobiles et cancers. Néanmoins, une légère tendance apparaissait entre gliomes et utilisation de téléphones mobiles analogiques. La faiblesse de cette étude réside d'après les auteurs dans sa faible base statistique (qui aurait néanmoins permis de détecter un risque relatif de 1,4 de tumeurs du cerveau) et l'utilisation de registres de cancer. Dans l'étude Interphone en cours cette insuffisance sera largement palliée.

3. Cancer – Etudes expérimentales

3.1 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

Bartsch H., Seebald E., Deerberg F., Dietz K., Bollrath and L. a. M. D., Radiation Research, 2002, 157, 183-190

Funding: Deutsche Telekom AG

Dans cette étude allemande financée par Deutsche Telekom, un modèle de tumeur mammaire a été mis en œuvre chez le rat durant trois ans. Les tumeurs étaient induites par le diméthylbenz[a]anthracène (DMBA). Les trois expériences indépendantes et conduites sur le même protocole ont démarré le même jour anniversaire (donc sans influence de la saison). Le signal GSM 900 était utilisé à un niveau de $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ soit 17,5 à 70 mW/kg de DAS corps-entier (la limite d'exposition pour le public étant de 0,08 W/kg ou 80 mW/kg). Les animaux étaient sacrifiés quand la première tumeur atteignait 1 à 2 cm de diamètre.

La latence d'apparition des tumeurs ainsi que leur incidence n'était pas affectée par l'exposition ni pour les tumeurs malignes ni pour les bénignes. Dans la première expérience la latence était supérieure chez les animaux exposés (effet de " protection " ?) mais pas pour les deux autres expériences.

En conclusion, aucun effet co-promoteur des signaux GSM n'a été mis en évidence dans ce travail. Des expérimentations analogues ont été faites à Bordeaux et d'autres sont en cours en Autriche et en Chine.

3.2 NEOPLASTIC TRANSFORMATION IN C3H 10T(1/2) CELLS AFTER EXPOSURE TO 835.62 MHZ FDMA AND 847.74 MHZ CDMA RADIATIONS

Roti Roti JL, Bisht KS, Ahern EW, Moros EG, Pickard WF, Straube WL, Radiat Res, 2001, 155, 239-247

Funding: Motorola Corp

Les auteurs ont évalué l'effet de signaux de téléphonie mobile américains - le CDMA à 847,74 MHz et le FDMA à 835,62 MHz – sur la transformation cancéreuse cellulaire. Le modèle de transformation choisi est celui des cellules fibroblastiques C3H10T1/2 qui utilise des critères morphologiques pour déterminer le caractère transformé des colonies. Les comptages sont réalisés sur des échantillons codés. Le niveau de DAS local moyen utilisé est de 0,6 W/kg et les cellules sont exposées dans un système de guides d'ondes (Radiation Transmission Line : RTL) , système d'exposition bien caractérisé et publié.

Un effet initiateur des radiofréquences est évalué en exposant les cellules pendant 7 jours en présence ou non d'un promoteur tumoral, suivi d'un maintien en culture pendant 42 jours. Un effet promoteur est examiné par exposition RF des échantillons cellulaires pendant 42 jours après irradiation par des rayons X (4,5 Gy).

Dans les deux conditions d'exposition et quel que soit le signal étudié, les résultats ne montrent aucun effet des radiofréquences sur la transformation cellulaire.

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

3.3 MOBILE PHONES, HEAT SHOCK PROTEINS AND CANCER.

French PW, Laurence JA, McKenzie DR, *Differentiation*, 2001, 67, 93-97 - Centre for Immunology, Sydney, Australia

Les auteurs australiens font l'hypothèse que les champs émis par les téléphones mobiles induisent l'expression des protéines de choc thermique (HSP) et par là favorisent le développement du cancer. Il s'agit là d'une spéculation théorique selon laquelle l'exposition chronique aboutirait à une expression augmentée continue des HSP qui serait préjudiciable au fonctionnement des cellules. L'action des micro-ondes de faible puissance sur la dénaturation des protéines est une piste de recherche actuellement explorée à la suite de l'observation à confirmer d'une augmentation des HSP sous exposition.

4. Genotoxicité

4.1 CYTOGENETIC DAMAGE IN HUMAN LYMPHOCYTES FOLLOWING GMSK PHASE MODULATED MICROWAVE EXPOSURE

d'Ambrosio G , Maria Rosaria Scarfi, Olga Zeni, *Bioelectromagnetics*, 2002, 23, 7-13 - Dept. of Electronic and Telecommunication Engineering, Univ. of Naples Federico II, Naples, Italy

Les auteurs ont évalué l'effet d'une exposition unique de 15 minutes à un signal radiofréquence de 1748 MHz, continu avec ou sans modulation de phase (modulation GMSK utilisé pour le protocole GSM) sur des lymphocytes humains de donneur sains. Les paramètres étudiés sont l'induction de micronoyaux (test de génotoxicité) et la prolifération cellulaire (index de prolifération). Les lymphocytes de 16 donneurs sont exposés (9 donneurs par type de modulation, dont 2 exposés aux deux types de signaux). Le débit d'absorption spécifique (DAS) maximal ou pic produit est indiqué à 5 W/kg et le DAS local moyenné sur le volume de l'échantillon¹ est de l'ordre de 2,2 W/kg, légèrement supérieur aux limites d'exposition locale pour le public.

Dans ce travail, les auteurs n'ont pas utilisé d'exposition factice (sham), ce qui ne permet pas de valider les résultats. Les résultats de ce travail montrent que le signal continu non modulé ne provoque aucune altération des paramètres étudiés, tandis que le signal modulé induit significativement la formation de micronoyaux (30% d'augmentation) qui représentent des lésions non réparées de l'ADN.

Ce travail conforte l'hypothèse que la modulation d'un signal radiofréquence pourrait être à l'origine d'effets biologiques comme le suggèrent les expériences du groupe de Litovitz sur l'enzyme ODC (Ornithine DéCarboxylase). Cependant, la dosimétrie du système d'exposition donne une répartition peu homogène du DAS (40% de variation). On peut noter que des expérimentations plus récentes du même groupe de recherche (congrès EBEA 2002), utilisant un système amélioré avec une répartition plus homogène du DAS local (2 W/kg), n'ont révélé aucun effet du même signal modulé GMSK sur les aberrations chromosomiques, ce qui ne corrobore pas les données présentées sur les micronoyaux.

4.2 MEASUREMENT OF DNA DAMAGE IN MAMMALIAN CELLS EXPOSED IN VITRO TO RADIOFREQUENCY FIELDS AT SARs OF 3-5 W/KG

Li L., LaGroye I., Zhang P., Straube W. L., Moros E. G., Roti Roti J. L., *Radiat Research*, 2001, 155, 239-247

Funding: Motorola Corp

Les auteurs ont évalué l'effet de signaux de téléphonie mobile américains - le CDMA à 847,74 MHz et le FDMA à 835,62 MHz – sur les lésions de l'ADN des cellules fibroblastiques C3H10T1/2. Les cellules sont exposées pendant 2, 4 et 24 heures dans un système RTL.

Des études précédentes n'ayant pas montré d'altération de l'ADN après exposition à ces signaux à un niveau de DAS local de 0,6 W/kg, des niveaux de 3 à 5 W/kg sont utilisés dans ce travail. Le test des comètes en conditions alcalines (permettant la détection des lésions de l'ADN sensibles en milieu alcalin dont font partie les cassures simple brin) est réalisé selon la méthode décrite par P. Olive, sans protéinase K. Afin de détecter d'éventuelles liaisons protéines-ADN, une série

¹ préciser le volume de l'échantillon !

d'échantillons est traitée avec de la protéinase K en parallèle. Quels que soient le temps d'exposition et le signal, aucune altération de l'ADN n'est mise en évidence dans cette étude.

On peut noter que cette étude est en accord avec les travaux de Tice et al. (2002) qui ne détectent, par la même technique, aucune fragmentation de l'ADN à ces niveaux de DAS .

4.3 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

Lesczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R, Differentiation, 2002, 70, 120-129

Les auteurs ont évalué l'effet d'un signal GSM 900 MHz sur l'activation des voies impliquées dans de la réponse cellulaire à un stress. Plus précisément, les auteurs ont suivi la phosphorylation et l'expression des protéines Hsp27, celles-ci représentant une des familles des protéines de stress.

Une lignée de cellules endothéliales humaines EA.hy926 a été choisie comme modèle cellulaire. Le niveau de DAS moyen utilisé est de 2W/kg et les cellules sont exposées dans un incubateur grâce à un système de guide d'onde. La température au niveau des boîtes de Pétri est contrôlée à l'aide d'une circulation d'eau.

Les effets non-thermiques des radiofréquences sont évalués à la fin ou à des intervalles de temps bien définis après une heure d'exposition. Les résultats montrent l'apparition de nombreuses protéines phosphorylées non identifiées chez les cellules exposées. Une des protéines a été identifiée comme étant la protéine Hsp27. Dès la fin de l'exposition, l'expression et la phosphorylation des protéines Hsp27 sont augmentées. On peut noter que cette expression est transitoire. Les auteurs ont identifié la voie responsable de la phosphorylation de Hsp27 comme étant celle de la kinase p38 MAPK.

Au regard de leurs résultats et compte tenu des fonctions bien connues des protéines Hsp27 phosphorylées dans l'inhibition de l'apoptose et la stabilisation des fibres d'actine, des hypothèses alarmantes sont avancées sur les effets des radiofréquences sur le cerveau. Ainsi, selon ces auteurs, l'exposition aux signaux de téléphonie mobile pourrait favoriser le développement de cancer au niveau du cerveau et augmenter la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique.

Le choix du modèle cellulaire utilisé peut être discuté dans la mesure où les cellules endothéliales utilisées sont des cellules endothéliales classiques contrairement à celles de la barrière hémato-encéphalique qui présentent une structure particulière (endothélium non fenestré ou serré). De plus, comme les auteurs le proposent, ces résultats devront être confirmés in vivo. Enfin, la présence de gradient de température au niveau de la monocouche cellulaire est un biais possible à ces expériences (il serait souhaitable de procéder à une vérification expérimentale de l'effet biologique des gradients de température).

4.4 CYTOGENETIC EFFECTS OF 900 MHZ (GSM) MICROWAVES ON HUMAN LYMPHOCYTES

Maes A , L. Verschaeve, *Bioelectromagnetics*, 2001, 22, 91-96

Funding: Belgacom Grant No: RD/D1/UN/19

Les travaux précédents de ce groupe belge sont fréquemment cités en référence comme preuve d'une interaction positive entre les radiofréquences des téléphones portables et des agents mutagènes connus. En effet, ces auteurs avaient montré que des lymphocytes de donneurs sains présentaient davantage d'anomalies chromosomiques appelées "échanges de chromatides sœurs" (lésions de l'ADN) après traitement par la mitomycine C lorsqu'ils étaient préalablement exposés pendant 2 heures à un signal GSM-900. La synergie semblait nette pour un DAS de 1,5 W/kg utilisé en 1996 mais très faible pour un DAS de 0,3 – 0,4 W/kg testé en 1997.

Dans cet article, les auteurs se proposaient de confirmer et d'étendre leurs résultats antérieurs. Au signal GSM-900 continu étudié précédemment ont été ajoutés un signal " pseudo-aléatoire" correspondant au signal obtenu au cours d'une conversation réelle ainsi qu'un pseudo-signal d'un téléphone n'émettant pas (sham). De plus, la gamme de DAS était plus large (0 ; 0,4 ; 2 ; 3,5 ; 5,5 et 10 W/kg) pour évaluer la possibilité d'une relation dose-effet et deux agents mutagènes étaient utilisés : la mitomycine C (agent chimique) et des rayonnements X (agent physique). Les lymphocytes étaient exposés dans une cellule TEM pendant 2 heures, avant le traitement par l'agent génotoxique. Les paramètres évalués étaient les aberrations chromosomiques et les échanges de chromatides sœurs.

Aucun effet génotoxique des radiofréquences n'est confirmé et aucune synergie n'est mise en évidence dans ce travail, quel que soit le mode de signal testé et l'agent génotoxique utilisé. Cependant, on peut noter une sensibilité des cellules de certains donneurs lors du traitement combiné RF et mitomycine C, qui n'est pas significative lorsque la totalité des donneurs est considérée. On peut regretter qu'aucune information sur les critères de sélection des donneurs ne soit donnée et noter que le nombre de donneurs par condition d'exposition reste faible (maximum de 4 sujets/ condition).

Note sur l'affiche présentée lors du congrès EBEA 2001 : les auteurs ont utilisé la même démarche pour étudier la présence d'aberrations chromosomiques, d'échange de chromatides sœurs (SCE) et de cassures de l'ADN (test des comètes TC) dans les lymphocytes de personnes professionnellement exposées à des radiofréquences. Une synergie potentielle avec la mitomycine C était également recherchée (SCE et TC). Le groupe exposé était représenté par 49 personnes sur 2 sites de stations de base, tandis que les sujets contrôles étaient représentés par un groupe témoin interne (sujets présents sur l'un des sites mais non exposés) et un groupe témoin externe (personnes extérieures aux sites).

Aucune altération de l'ADN dans les cellules des sujets exposés n'a pu être mise en évidence en comparaison aux groupes témoins. De plus, aucune potentialisation des effets de l'agent génotoxique n'a été observée.

5. Système nerveux - Etudes humaines

5.1 HUMAN ELECTROPHYSIOLOGICAL AND COGNITIVE EFFECTS OF EXPOSURE TO ELF MAGNETIC AND ELF MODULATED RF AND MICROWAVE FIELDS: A REVIEW OF RECENT STUDIES.

Cook CM, F.S. Prato, Bioelectromagnetics, 2002, 23, 144-157

Funding: Canadian Institutes of Health Res.; E.D. Hughes Mann; Lawson Health Res. Inst., Plunkett Foundation; Fred Soyka Memorial Fund; FrAlex Therapeutics Inc.; Ontario Innovation Trust; Canada Foundation for Innovation

L'objectif de cet article est de faire une synthèse des connaissances acquises dans la gamme des champs d'extrêmement basses fréquences (ELF pour Extremely Low Frequency(ies) en anglais) sur les effets sur l'EEG et les fonctions cognitives humaines, mais le cas des RF modulées en ELF (cas de la téléphonie mobile GSM) est également envisagé. La conclusion des auteurs sur les effets des champs ELF est que, dans certains cas, ils peuvent affecter les zones superficielles du cerveau (cortex) dans les régions pariétales et frontales.

Dans le cas des signaux GSM (modulation à 8 et 217 Hz) les travaux des groupes de Röschke, Freude et Krause sur l'EEG et les potentiels lents ainsi que ceux de Preece et de Koivisto sur les tâches cognitives du cerveau indiquent d'après cette revue que des effets semblent se produire sous exposition aux signaux de la téléphonie mobile. Des améliorations aux protocoles expérimentaux sont proposées pour confirmer ces résultats. Par exemple il est suggéré de classer les sujets suivant leur activité EEG au repos afin de minimiser la dispersion des résultats. De même il est conseillé de tenir compte des facteurs pouvant augmenter la variabilité intra- et inter-sujets dans les expériences de cognition (caractère, heure du test, prise de médicament, etc.). La plupart de ces recommandations ont déjà été mises en œuvre dans les expérimentations récentes.

La conclusion des auteurs, en contradiction partielle avec le corps du texte est qu'il est très difficile de réaliser et d'interpréter ce type d'expérience en particulier pour l'EEG. De plus, aucune conclusion n'est donnée sur le rôle de la modulation dans les effets des RF.

5.2 THE ACUTE EFFECTS OF EXPOSURE TO THE ELECTROMAGNETIC FIELD EMITTED BY MOBILE PHONES ON HUMAN ATTENTION.

Edelstyn N, Neuroreport, 2002, 132, 119-121 - Dept. of Psychology, Univ. of Keele, Staffs, UK

Les capacités d'attention ont été testées chez 38 volontaires exposés aux champs de téléphones mobiles GSM pendant 30 min. L'exposition réelle ou fictive était faite en aveugle. La performance était évaluée avant l'exposition, puis 15 et 30 min après. Six tests étaient pratiqués : des différences étaient observées sur deux tests d'attention et un de calcul. Dans les trois cas, une amélioration des performances était constatée. Ces résultats sont à rapprocher de ceux rapportés par les équipes de

Preece et de Koivisto qui ont également observé des modifications de fonctions cognitives mais à l'aide de tests différents.

5.3 ELECTROMAGNETIC FIELD OF MOBILE PHONES AFFECTS VISUAL EVENT RELATED POTENTIAL IN PATIENTS WITH NARCOLEPSY.

Jech R , Rika E, Nebuelsk A, Böhm J, Juklíková M, Nevímalová S, Bioelectromagnetics, 2001, 22, 519-528

Funding: IGA MZ Grant No. 4189-3; MSMT COST Grant No. 244BIS.10; CEZ VZ, Grant No. J13/98 111100001

Un système d'exposition a été conçu pour le signal Iridium (liaison par satellite à 1,62 GHz). Des petits animaux (rats, souris, hamsters) peuvent être exposés sans être immobilisés. Le système qui est de type guide d'onde ouvert peut contenir 18 cages. La densité de puissance est de $3,7 \text{ W/cm}^2$ correspondant à une dose corps-entier de $0,07 \text{ W/kg}$ et moyennée sur le cerveau de $0,19 \text{ W/kg}$. Il s'agit donc d'un système d'exposition adapté pour un nombre important d'animaux libres de leurs mouvements avec en contre-partie une dosimétrie peu précise.

5.4 NO EFFECTS OF PULSED RADIO FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ON MELATONIN, CORTISOL, AND SELECTED MARKERS OF THE IMMUNE SYSTEM IN MAN.

Radon K , D.-M. Rose, D. Jung, L. Vollrath, Bioelectromagnetics, 2001, 22, 280-287

Funding: Deutsche Telekom AG

Dans cette étude réalisée en Allemagne, des volontaires ont été soumis à une exposition à des signaux GSM afin de déterminer des altérations éventuelles des niveaux de mélatonine (hormone des rythmes), cortisol (hormone du stress), néoptérine et immunoglobuline (facteur immunitaire : anticorps de type IgA). Les volontaires mâles étaient exposés en double aveugle aux ondes émises par une antenne placée 10 cm derrière des personnes assises (GSM, 1 W/m^2). Chaque personne était testée durant 20 séances de 4 heures dont dix avec une exposition réelle et dix autres avec une exposition fictive, l'ordre des séances ayant auparavant été tiré au hasard (randomisé). La moitié des séances avaient lieu le jour et l'autre moitié la nuit. Aucune différence significative n'a été observée sur les concentrations des 4 molécules, mesurées dans la salive, entre les phases d'exposition réelle et les phases d'exposition fictive.

5.5 HYPERSENSITIVITY SYMPTOMS ASSOCIATED WITH EXPOSURE TO CELLULAR TELEPHONES: NO CAUSAL LINK.

Hietanen M, Husman T, *Bioelectromagnetics*, 2002, 23, 264-270

Funding : Tekes-National Technology Agency ; Grant No 40134/98

La réalité du phénomène de l'hypersensibilité a été testée en Finlande sur des personnes se déclarant hypersensibles à l'électricité, dans des expériences pratiquées en double aveugle (ni la personne ni l'expérimentateur n'étaient informés durant l'exposition de sa nature réelle ou fictive). Vingt volontaires ont été testés (13 femmes et 7 hommes). Les sources de micro-ondes étaient constituées par un téléphone mobile NMT (analogique à 900 MHz) et deux GSM (numériques à 900 et 1800 MHz). Chaque personne était soumise en une journée à 3 ou 4 sessions de 30 min (réelle ou fictive) et devait décrire les symptômes ressentis. Sa pression artérielle, son rythme cardiaque et sa fréquence respiratoire étaient mesurés toutes les 5 min. La plupart des symptômes rapportés étaient situés au niveau de la tête, mais leur occurrence était plus fréquente pendant les phases d'exposition fictive. De plus, personne n'a pu distinguer les expositions réelles des expositions fictives. Ces résultats sont en accord avec d'autres expérimentations analogues.

5.6 GSM PHONE SIGNAL DOES NOT PRODUCE SUBJECTIVE SYMPTOMS.

Mika Koivisto, Christina M. Krause, Antti Revonsuo, Matti Laine, Heikki Hämäläinen, *Bioelectromagnetics*, 2001, 22, 212-215

Funding: Univ. of Turku, Finland; Nokia; Acad. of Finland Grant Nos. 7338, 42536, 36106, and 45704

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

5.7 MOBILE PHONE USE AND SUBJECTIVE SYMPTOMS. COMPARISON OF SYMPTOMS EXPERIENCED BY USERS OF ANALOGUE AND DIGITAL MOBILE PHONES.

Sandstrom M, Oftedal G, Hansson Mild K., *Occup Med (Lond)*, 2001, 51, 25-35 - Natl. Inst. for Working Life, Umea, Sweden

A la suite de la vaste étude réalisée en Suède et Norvège sur des utilisateurs de téléphones mobiles NMT (analogiques) et GSM (numériques) sur les symptômes rapportés, une synthèse a été faite dans cet article des principales conclusions. L'hypothèse de départ selon laquelle les utilisateurs de

GSM rapportaient plus de symptômes que les utilisateurs de NMT a été invalidée. Néanmoins, la sensation de chaleur sur l'oreille était plus rare chez les utilisateurs de GSM. La même tendance existait en Norvège pour les sensations de chaleur autour et derrière l'oreille et en Suède pour les maux de tête et la fatigue. Les différences qui existent entre les deux systèmes (le réseau NMT est devenu marginal depuis cette étude) doivent permettre d'expliquer les différences observées : moindre puissance du GSM, etc. Une autre observation est la corrélation significative entre la durée des appels et l'incidence des sensations de chaleur derrière et autour de l'oreille, ainsi qu'avec les maux de tête et la fatigue.

5.8 SYMPTOMS REPORTED BY MOBILE CELLULAR TELEPHONE USERS.

Santini R, Bonhomme-Faivre L, Bouffet S, Defrasne E, Sage M., *Pathol Biol (Paris)*, 2001, 49, 222-226 - Institut national des sciences appliquées, laboratoire de biochimie-pharmacologie, Villeurbanne, France

Une étude de questionnaire sur des symptômes a été réalisée sur un échantillon réduit : 78 utilisateurs et 83 non-utilisateurs de téléphones mobiles GSM. Aucune différence n'a été observée entre les deux groupes pour les symptômes généraux stables (maux de tête, difficultés de concentration, perte de mémoire, fatigue et perturbations du sommeil). Les symptômes rapportés lors des communications (sentiment d'inconfort, picotements et chaleur sur l'oreille) sont associés au nombre d'appels quotidiens et à la durée cumulée des communications.

5.9 CASE REPORT: NEUROLOGICAL ABNORMALITIES ASSOCIATED WITH CDMA EXPOSURE.

Hocking B, *Occup Med (Lond)*, 2001, 51, 410-413 - Victoria, Australia

Un cas est rapporté par les auteurs australiens de troubles observés chez un patient exposé par accident au champ proche d'une station de base. L'exposition d'un côté de la face avait duré une ou deux heures. Le patient s'est plaint de maux de tête, d'une altération de la vision du côté exposé, de sensations tactiles modifiées sur le front (dysesthésies), des anomalies étaient constatées sur des tests pratiqués sur la branche ophtalmique du V^{ème} nerf crânien (trijumeau). Le retour à la normale s'est fait au bout de six mois. Il apparaît extrêmement étonnant que de tels effets aient été causés par une exposition brève à des niveaux faibles, qui de plus n'ont pas été mesurés ni évalués, ce qui limite la portée de cette observation.

5.10 HUMAN EXPOSURE TO 2450 MHZ CW ENERGY AT LEVELS OUTSIDE THE IEEE C95.1 STANDARD DOES NOT INCREASE CORE TEMPERATURE

Adair ER, Brenda L. Cobb, *Bioelectromagnetics*, 2001, 22, 429-439 - US Air Force

La recherche porte actuellement sur les effets des micro-ondes à des puissances auxquelles des effets thermiques se produisent. Pourtant, l'équipe de la base militaire américaine Brooks Air Force

a été autorisée à tester les effets sur l'homme d'une exposition locale à 15,4 W/kg correspondant à un DAS corps entier de 1 W/kg. Les 7 volontaires (4 hommes et 3 femmes) ont donc été exposés pendant 45 min à 2450 MHz à des températures ambiantes de 24, 28 et 31°C. Dans les conditions les plus défavorables de 31°C et 70 mW/cm², l'augmentation du débit sanguin cutané et la transpiration ont maintenu l'homéostasie de la température de façon efficace. Il est également clair que des manœuvres d'évitement dues à la douleur empêcheraient un séjour trop prolongé dans ces conditions d'exposition.

5.11 PARTIAL-BODY EXPOSURE OF HUMAN VOLUNTEERS TO 2450 MHz PULSED OR CW FIELDS PROVOKES SIMILAR THERMOREGULATORY RESPONSES

Adair ER, Brenda L. Cobb, Bioelectromagnetics, 2001, 22, 246-259 - US Air Force

L'objectif principal de ce travail était de comparer les réponses de volontaires à des émissions micro-ondes thermiques, pulsées ou continues. Cinq hommes et deux femmes ont été soumis à des expositions de 45 min à 2450 MHz à des puissances incidentes de 27 et 35 mW/cm², correspondant à des DAS locaux de 5,94 et 7,7 W/kg. L'exposition était faite à trois températures ambiantes de 24, 28 et 31°C. Aucune différence n'a été observée en termes de température corporelle quel que soit le type de micro-onde pulsé ou continu. Seule la température de la peau à la surface du dos en regard de l'antenne était significativement augmentée dans le cas des ondes pulsées. Les valeurs de DAS utilisées les plus élevées sont supérieures aux limites d'exposition locale pour le public (2 W/kg local).

6. Systeme nerveux - Etudes expérimentales

6.1 DOES HEAD-ONLY EXPOSURE TO GSM-900 ELECTROMAGNETIC FIELDS AFFECT THE PERFORMANCE OF RATS IN SPATIAL LEARNING TASKS?

Dubreuil D, Edeline JM, Behavioural Brain Research, 2002, 129, 203-210

Funding: Ministère de la Recherche; Ministère de l'Economie, des Finances, et de l'Industrie

Dans le cadre du programme de recherche français COMOBIO, l'équipe de l'université d'Orsay a entrepris une étude de confirmation de résultats publiés par Lai aux USA en 1994. Lai exposait des rats à des signaux de type radar (exposition corps-entier, 2450 MHz, impulsions de 2 µs toutes les 500 ms), durant 45 min par jour pendant dix jours. Il testait chaque jour la mémoire de travail de type spatial des animaux et montrait une inhibition de l'apprentissage des rats sous l'effet de l'exposition. Dubreuil et coll. ont repris l'essentiel du protocole de Lai en exposant la tête des rats à l'aide d'antennes boucle (DAS local de 1 à 3,5 W/kg moyenné dans le cerveau) à un signal GSM 900. Deux tests de comportement étaient utilisés : le labyrinthe radial pour tester la mémoire de

travail et la " piscine sèche " pour la mémoire de référence. Les rats étaient exposés durant 45 min par jour avant le test. Aucune différence n'a été observée entre les différents groupes d'animaux (contrôles cage, pseudo-exposés et exposés). La conclusion est donc que les deux types de mémoire ne paraissent pas altérés par des expositions semi-chroniques à des niveaux de puissance bien supérieurs à la réalité de l'utilisation d'un téléphone mobile.

7. Dosimétrie

7.1 BASIS FOR OPTIMIZATION OF INVITRO EXPOSURE APPARATUS FOR HEALTH HAZARD EVALUATIONS OF MOBILE COMMUNICATIONS

Schoenborn F, Burkhardt M, and Kuster N, Bioelectromagnetics, 2001, 22, 547-559

Funding: Motorola, Inc.; Nortel; VERUM Foundation, Munchen

Cet article écrit par le groupe de Kuster à Zurich fait le point sur les systèmes d'exposition in vitro. Ce groupe qui a une vaste expérience de la conception de tels systèmes, décrit le cas de cellules en suspension ou adhérentes, et ce dans une large gamme de fréquence, de 700 à 2500 MHz, couvrant donc l'ensemble des ondes utilisées en téléphonie mobile. Les différents paramètres sont discutés : volume de milieu, polarisation, ménisque, distorsion du champ par l'échantillon. Les avantages et inconvénients des différents systèmes (TEM, chambres résonantes, lignes radiales de transmission, guides d'onde, fil-plaque) sont comparés. Les critères d'amélioration de système futurs sont donnés.

Il s'agit donc d'une revue de qualité sur les systèmes d'exposition in vitro. La conclusion est que, depuis quelques années, des systèmes de qualité satisfaisante existent ce qui améliore sensiblement la qualité des résultats biologiques obtenus.

7.2 A DISCUSSION OF POTENTIAL EXPOSURE METRICS FOR USE IN EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON HUMAN EXPOSURE TO RADIOWAVES FROM MOBILE PHONE BASE STATIONS

Schuz J, J Expo Anal Environ Epidemiol, 2000, 10, 600-605

Funding: Environment Ministry of Baden-Wurttemberg; Verum Foundation; DeTeMobil

Cet article de chercheurs allemands est le premier qui aborde la faisabilité d'études épidémiologiques autour des stations de base. Il met en évidence l'extrême difficulté de telles études à cause des raisons principales suivantes :

- Les niveaux de puissance des ondes issues des stations de base sont plus faibles que ceux correspondant aux autres sources telles que TV et FM,
- Aucune grandeur physique ne permet d'estimer l'exposition historique des riverains,
- Les mesures qui sont faites actuellement ne correspondent pas aux situations passées ou futures,

- La propagation des ondes est extrêmement complexe à cause de réflexions et absorptions par les obstacles,

La distance entre le cas et la station de base n'est donc pas une mesure fiable du niveau d'exposition.

De plus il n'existe pas d'indice d'effet sanitaire qui justifie de telles études si elles étaient possibles, alors que des études sur les autres sources de RF ne sont pas effectuées.

8. Divers

8.1 ARE MOBILE PHONES HARMFUL?

Blettner M Journal/Acta Oncol, 2000, 39, 927-930 - Dept. of Epidemiology and Medical Statistics, Sch. of Public Health, Univ. of Bielefeld, Bielefeld, Germany

Blettner et Berg sont des chercheurs allemands impliqués depuis de nombreuses années dans la recherche sur les effets potentiels des ELF. Cette lettre publiée dans une revue consacrée au cancer pose la question de l'innocuité des téléphones mobiles.

Les auteurs dressent un bilan des études effectuées en laboratoire sur les effets dits thermiques et non thermiques et insistent sur l'effet co-promoteur éventuel des signaux de la téléphonie mobile. Ils plaident pour la réalisation d'études épidémiologiques adaptées et en particulier accompagnées d'une évaluation précise des niveaux d'exposition. Leur conclusion qui tombe sous le sens est qu'une élévation du risque même minime pourrait avoir des conséquences importantes en termes de santé publique en raison du nombre élevé d'utilisateurs.

8.2 GENERAL APPROACH TO PROTECTION AGAINST NON-IONIZING RADIATION

ICNIRP, Health Physics, 2002, 82, 540-548

Ce document qui explicite la "philosophie" de l'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection) permet d'appréhender la démarche d'établissement des recommandations de limites d'exposition sur des bases scientifiques.

Le processus d'évaluation des connaissances sur les effets biologiques, les effets sanitaires, la détermination des effets critiques et l'établissement des facteurs de réduction correspondant aux incertitudes, sont décrits en détail avec des exemples.

La prise en compte de ces recommandations par les gouvernements est également abordée pour expliciter les approches de précaution éventuelles qui ne doivent jamais ignorer les bases scientifiques des recommandations initiales.

8.3 PHONES AND THE BRAIN

Jones D, Nature, 2001, 411, 1012

Une hypothèse théorique est proposée pour expliquer les effets potentiels des micro-ondes sur les neurones. L'action des ondes sur les terminaisons nerveuses (dendrites) serait causée par une altération de certaines protéines constitutives de cette partie des neurones. Cet effet serait dépendant de la fréquence de l'onde. Cette hypothèse pourrait être testée dans des expérimentations in vitro. Aucune base théorique actuelle ne peut étayer cette hypothèse à partir des interactions connues entre micro-ondes de faible puissance et systèmes biologiques.

8.4 LOCAL VASODILATOR RESPONSE TO MOBILE PHONES.

Paredi P, Hanazawa T, Barnes PJ., Laryngoscope, 2001, 111, 159-162 - Dept. of Thoracic Medicine, Natl. Heart and Lung Inst., London, UK

Dans cette étude sur l'homme, l'hypothèse testée est que l'exposition aux téléphones mobiles induirait une production accrue de monoxyde d'azote, NO, entraînant des effets biologiques liés à cette espèce radicalaire (vasodilatation, etc.). Le NO est produit lors de certains phénomènes inflammatoires. Ils ont donc mesuré la quantité de NO dans l'air expiré et constaté une augmentation de 13% de la concentration de NO au bout de 10 minutes. En parallèle, ils ont mesuré une augmentation de la température cutanée de 2,3 °C du côté du téléphone mobile et aucune de l'autre côté, ainsi qu'une réduction de 27% de la section de passage de l'air par le nez.

En conclusion, les auteurs ont confirmé l'augmentation de température cutanée mais sans faire la part de ce qui est dû aux ondes et au transfert direct de chaleur. Ils ont montré que du NO pouvait être induit, donnant lieu à une vasodilatation et à un rétrécissement du conduit nasal. Ces résultats mériteraient une réplique soignée pour être validés.

8.5 GROWTH AND MATURATION OF THE NEMATODE CAENORHABDITIS ELEGANS FOLLOWING EXPOSURE TO WEAK MICROWAVE FIELDS.

de Pomerai DI, Djerbib L, Allan J, Brunt G, Daniells C, Enzyme and Microbial Technology, 2002, 30, 73-79 - Univ. of Nottingham, UK

A la suite de l'étude de ce groupe anglais sur les effets de micro-ondes de faible puissance sur des vers transgéniques, une nouvelle étude a été effectuée à température constante (25°C) sur des larves de vers en cultures (1 mW/kg). La croissance des larves était accélérée de 18 % sous exposition et leur maturation en vers adultes de 28 à 40%. A l'inverse, un échauffement de ces mêmes cultures à 28°C provoquait l'effet opposé sur ces deux paramètres biologiques. Ceci constitue pour les auteurs la preuve que les effets déjà observés sur des vers transgéniques ne provenaient pas d'un échauffement par les micro-ondes. Une confirmation de ces résultats en rapport avec l'induction par les micro-ondes de protéines de choc thermique reste nécessaire. Cependant, il n'y a pas

actuellement d'indication que ces résultats soient directement transposables à l'homme d'une part, ni s'ils le sont que ces effets peuvent se traduire par des conséquences néfastes sur la santé. Le principe de précaution justifie de rechercher si c'est ou non le cas, pour savoir s'il y a lieu de prendre en considération les niveaux de ces effets pour l'établissement des normes, ce qui n'est pas le cas actuellement.

8.6 MOBILE PHONES, PRECAUTIONARY PRINCIPLE, AND FUTURE RESEARCH.

Leszczynski D, *The Lancet*, 2001, 358, 1733 - Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland

Cette lettre au journal *Lancet* d'un chercheur finlandais porte sur l'état actuel des recherches sur les effets éventuels des téléphones mobiles. L'analyse des incertitudes qui subsistent dans l'évaluation des risques sanitaires explique selon l'auteur le recours au principe de précaution. La proposition est donc de mettre en œuvre les nouvelles approches de la génomique et de la protéomique qui permettent de quantifier les altérations de l'expression des gènes et de la production de protéines. Il faudrait donc investir massivement dans ce type de recherche pour lever les incertitudes actuelles. En pratique, cette approche est certes moderne et puissante mais pose de nombreux problèmes d'interprétation, en raison de la multiplicité des résultats fournis et du manque de références résultant d'une technologie récente. Elle est actuellement abordée à une échelle modeste, à cause d'une part des coûts technologiques, d'autre part de l'investissement en personnel nécessaire au dépouillement des résultats.

8.7 ENERGY DEPOSITION PROCESSES IN BIOLOGICAL TISSUE: NONTHERMAL BIOHAZARDS SEEM UNLIKELY IN THE ULTRA-HIGH FREQUENCY RANGE.

Pickard WF, *Bioelectromagnetics*, 2001, 22, 97-105

Funding: Florida Corporate Electromagnetic Res. Lab. of Motorola

L'auteur qui est un physicien américain considère que le phénomène dominant à la fréquence de la téléphonie mobile est la conduction ionique et la relaxation diélectrique dont la contribution augmente avec la fréquence. Les mécanismes proposés impliquant les magnétosomes (aimants naturels présents dans le cerveau et dans d'autres tissus) ne sont pas de bons candidats pour initier des effets biologiques. Pour cela il faudrait que des processus permettent d'accumuler l'énergie dans le temps, l'espace et de la focaliser. Trois processus sont examinés par l'auteur : l'absorption multiphotonique, l'effet direct du champ électrique sur les ions et les effets coopératifs ou excitations cohérentes. Aucun de ces mécanismes ne semble plausible à l'auteur qui considère qu'aucun effet non thermique n'est prévisible dans le cas des micro-ondes de faible puissance. Cette conclusion rejoint celle de la plupart des physiciens travaillant en bioélectromagnétisme .

8.8 EFFECTS OF MOBILE PHONE TYPE SIGNALS ON CALCIUM LEVELS WITHIN HUMAN LEUKAEMIC T-CELLS (JURKAT CELLS).

Cranfield CG, Anderson V, Menezes KG, *Int J Radiat Biol*, 2001, 77, 1207-1217

Funding: Swinburne Univ. Res. and Development Fund; Telstra Fellowship

L'effet sur la concentration en ions calcium dans des lymphocytes a été étudié sous exposition à des signaux GSM (DAS local de 2 W/kg). La technique de la microscopie confocale par fluorescence était utilisée pour mesurer la concentration en calcium. Les lymphocytes étaient activés à l'aide de phytohémagglutinine (PHA : substance qui provoque la maturation des lymphocytes à partir de leurs précurseurs les lymphoblastes ; cette transformation des lymphoblastes en lymphocytes est appelée "transformation lymphoblastique"). Aucune altération de la concentration en calcium n'a été observée sous exposition GSM. Il s'agit là de la deuxième étude négative sur la concentration en calcium sous exposition GSM. Plusieurs études dans la gamme des ELF s'étaient révélées positives.

8.9 L'ENDOCYTOSE, UNE FONCTION CELLULAIRE QUI EST STIMULEE PAR LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES ET QUI JOUE UN ROLE DANS L'INTERNALISATION DE LA BLEOMYCINE.

N. Mahrouf, Thèse Université Paris V, 2002

Les effets de l'exposition à des signaux GSM de cellules en culture ont été étudiés sur l'endocytose en phase fluide dans un travail de thèse réalisé à l'Institut Gustave Roussy. Ce phénomène correspond à l'entrée dans les cellules de substances circulant dans le milieu extracellulaire. Plusieurs mécanismes complémentaires existent. Le seul qui paraît altéré par les micro-ondes ou par des champs électriques est celui qui met en jeu une invagination de la membrane cellulaire sans l'implication de récepteurs membranaires.

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

9. Publications sans comité de lecture scientifique

9.1 SCIENTIFIC PROGRESS - WIRELESS PHONES AND BRAIN CANCER: CURRENT STATE OF THE SCIENCE.

Carlo GL, Med Gen Med, 2000 - Wireless Technology Res., LLC Washington, DC, USA

Dans cet article, publié sur le Web, sans comité de lecture, le directeur du programme de recherche WTR, G. Carlo, donne les résultats de certaines études du programme sans l'accord des chercheurs et avant publication officielle de ces résultats dans les revues scientifiques à comité de lecture. Il s'agit pour G. Carlo d'informer les consommateurs. Il a donc choisi deux exemples concernant l'épidémiologie des tumeurs cérébrales et une expérimentation in vitro sur la formation de micro-noyaux. Dans les deux cas les données sont partiellement et mal interprétées. Quand les travaux ont été publiés des controverses sont nées de la différence d'interprétation entre les auteurs et G. Carlo. Une réplique a lieu actuellement de l'expérience sur l'induction de micro-noyaux.

10. Liste des références

Adair ER, K.S.M., Brenda L. Cobb (2001) Human exposure to 2450 MHz cw energy at levels outside the IEEE C95.1 standard does not increase core temperature *Bioelectromagnetics*, 22, 429-439.

Adair ER, K.S.M., Brenda L. Cobb (2001) Partial-body exposure of human volunteers to 2450 MHz pulsed or cw fields provokes similar thermoregulatory responses *Bioelectromagnetics*, 22, 246-259.

Betts TR, S.I. (2002) Inhibition of temporary pacing by a mobile phone. *Heart*, 87, 130.

Blettner M, B.G. (2000) Are mobile phones harmful? *Acta Oncol*, 39, 927-930.

Byus CV (2001) Effect of immobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field on core body temperature, plasma ACTH and corticosteroid, and brain ornithine decarboxylase, fos and jun mRNA. *Radiat Res*, 155, 584-592.

Carlo GL, J.R. (2000) Scientific progress - wireless phones and brain cancer: Current state of the science. *Med Gen Med*.

Cook CM, A.W.T., F.S. Prato (2002) Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: A review of recent studies *Bioelectromagnetics*, 23, 144-157.

Cranfield CG, W.A., Anderson V, Menezes KG (2001) Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (jurkat cells). *Int J Radiat Biol*, 77, 1207-1217.

d'Ambrosio G , R.M., Maria Rosaria Scarfi, Olga Zeni (2002) Cytogenetic damage in human lymphocytes following gmsk phase modulated microwave exposure *Bioelectromagnetics*, 23, 7-13.

French PW, P.R., Laurence JA, McKenzie DR (2001) Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation*, 67, 93-97.

Frey AH (2002) Hold the (cell) phone... *Science*, 295, 440-441.

Frumkin H, J.A., Gansler T, Thun MJ (2001) Cellular phones and risk of brain tumors. *CA Cancer J Clin*, 51, 137-141.

Heikkinen P, K.V., Hongisto T, Huuskonen H, Hyysalo P, Komulainen H, Kumlin T, Lahtinen T, Lang S, Puranen L, Juutilainen (2001) Effects of mobile phone radiation on x-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res*, 156, 775-785.

Hocking B, W.R. (2001) Neurological abnormalities associated with cdma exposure. *Occup Med (Lond)*, 51, 410-413.

Jech R , K.o., Even Rika, Antonín Nebuelský, Jiří Böhme, Michaela Juklíková, Soňa Nevímalová (2001) Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy *Bioelectromagnetics*, 22, 519-528.

Johansen C, B.J.J., McLaughlin J, Olsen J. (2001) Cellular telephones and cancer--a nationwide cohort study in denmark. *J Natl Cancer Inst*, 93, 203-207.

Lesczynski 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

Maes A , M.C., L. Verschaeve (2001) Cytogenetic effects of 900 MHz (gsm) microwaves on human lymphocytes *Bioelectromagnetics*, 22, 91-96.

Mika Koivisto, C.H., Christina M. Krause, Antti Revonsuo, Matti Laine, Heikki Hämäläinen (2001) Gsm phone signal does not produce subjective symptoms *Bioelectromagnetics*, 22, 212-215.

Moustafa YM, M.R., Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. (2001) Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidase activities in human erythrocytes. *J Pharm Biomed Anal*, 26, 605-608.

- Nelson N (2001) Recent studies show cell phone use is not associated with increased cancer risk. *J Natl Cancer Inst*, 93, 170-172.
- Paredi P, K.S., Hanazawa T, Barnes PJ. (2001) Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope*, 111, 159-162.
- Pickard WF (2001) How might spatial nonuniformity of dose in a homogeneous biological system affect its total response? *Bioelectromagnetics*, 22, 66-70.
- Pickard WF, E.G.M. (2001) Energy deposition processes in biological tissue: Nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range *Bioelectromagnetics*, 22, 97-105.
- Radon K, D.P., D.-M. Rose, D. Jung, L. Vollrath (2001) No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man *Bioelectromagnetics*, 22, 280-287.
- Repacholi MH (2001) Health risks from the use of mobile phones. *Toxicol Lett*, 120, 323-331.
- Roti Roti JL, M.R., Bisht KS, Ahern EW, Moros EG, Pickard WF, Straube WL (2001) Neoplastic transformation in c3h 10t(1/2) cells after exposure to 835.62 MHz fdma and 847.74 MHz cdma radiations *Radiat Res*, 155, 239-247.
- Sandstrom M, W.J., Oftedal G, Hansson Mild K. (2001) Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med (Lond)*, 51, 25-35.
- Santini R, S.M., Bonhomme-Faivre L, Bouffet S, Defrasne E, Sage M. (2001) Symptoms reported by mobile cellular telephone users *Pathol Biol (Paris)*, 49, 222-226.
- Schuz J, M.S. (2000) A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 10, 600-605.
- Sykes PJ, B.D.M., & A M Hooker (2001) Effect of exposure to 900 MHz radiofrequency radiation on intrachromosomal recombination in pkz1 mice *Radiation Research*, 156, 495-502.
- Tice RR, G.G.H., Maria Donner, Donald I. McRee, Arthur W. Guy Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells *Bioelectromagnetics*, 23, 113-126.

ANNEXE 4

COMMUNICATIONS EN CONGRES

Annexe 4a : Synthèse des communications de la BEMS – Juin 2001

Annexe 4b : Résumés détaillés de la BEMS sur la téléphonie mobile

Annexe 4c : Session spéciale sur les Radiofréquences et la Barrière Hémato Encéphalique

Annexe 4d : Synthèse des communications de l'EBEA – Septembre 2001

Annexe 4^e : Résumés de la BEMS sur la téléphonie mobile (originaux : en anglais)

Annexe 4f : Résumés de l'EBEA sur la téléphonie mobile (originaux : en anglais)

Les Annexes 4^e et 4f des résumés de congrès originaux sont volumineuses et sont présentées à part du document principal.

Annexe 4a

Synthèse des communications du congrès de la Bioelectromagnetics Society (St Paul, USA, juin 2001)

I. Lagroye et B. Veyret
Laboratoire PIOM, Bordeaux

La société de bioélectromagnétisme BEMS est une société savante qui étudie les effets biologiques et médicaux des champs électromagnétiques et les mécanismes d'interaction de ces effets. Cette société à but non lucratif est basée aux Etats-Unis ; son bureau est composé de physiciens et d'ingénieurs, de biologistes et de médecins, et la gestion de son activité est confiée à un secrétariat professionnel. Cette société comprend 450 membres, dont la moitié sont européens. Elle tient un congrès annuel habituellement dans la deuxième quinzaine de juin. L'adresse de son site web est : www.bioelectromagnetics.org. Elle édite un journal en collaboration avec l'EBEA : le journal Bioelectromagnetics (BEMS journal).

1- Introduction

Le congrès annuel de la BEMS EN 2001 s'est déroulé à St Paul, Minnesota, du 14 au 19 juin 2001. La participation était moins fournie que les années précédentes (350 personnes au lieu de 472 à Munich en 2000). La moitié des participants venait d'Europe et la délégation japonaise était importante. Sur les 235 communications, 46 étaient présentées par des étudiants.

Cette baisse du nombre de participants et des inscriptions à la BEMS, est due au moindre financement de la recherche en bioélectromagnétisme aux USA. À l'heure actuelle, l'essentiel de l'activité de recherche dans ce domaine se situe en Europe.

Les différents thèmes en rapport avec la téléphonie mobile sont décrits ci-dessous (les nombres entre parenthèses correspondent aux références du recueil de résumés : Annexe 4d).

2- Epidémiologie

Les études récentes se sont toutes révélées négatives¹, sauf celle de L. Hardell, en Suède. Ce chercheur suédois avait déjà publié en 1996 des résultats « alarmants » sur la corrélation entre tumeurs au cerveau et utilisation de téléphone mobile². Lors du colloque organisé à Londres les 6 et 7 juin par City and Financial, Hardell a présenté la suite de son étude sur un nombre de cas plus important (1479 au lieu de 209 ; cf. Press Release p. 8). Le facteur de risque pour les téléphones mobiles analogiques de type NMT³ était de 1,26. Une corrélation entre la latéralité de l'utilisation du téléphone mobile et tumeur était établie avec un facteur de risque de 2,5. Cette étude sera prochainement publiée malgré les critiques sévères de collègues épidémiologistes de Hardell. La conclusion de cet auteur est que les téléphones mobiles analogiques, à cause de leur puissance importante et de leur ancienneté plus grande, sont plus « dangereux » que les téléphones mobiles GSM qui existent depuis moins longtemps. Pour Hardell, il semble probable que, dans quelques années, les téléphones mobiles GSM seront également mis en cause dans l'induction des tumeurs ! Ceci restera bien évidemment à vérifier, en particulier grâce à l'étude du CIRC pilotée par E. Cardis. Les résultats de cette vaste étude ne seront malheureusement disponibles qu'à la fin de l'année 2003.

¹ Muscat et al. (2001) JAMA 284(23):3001-3007; Inskip et al (2001) N Engl J Med 344:79-86 ; Morgan et al. (2000) Epidemiology 11:118-127

² Hardell et al. (1999) International J Oncology 15:113-116

³ Nordic Mobile telephone

Pour améliorer la précision des études épidémiologiques, il est nécessaire de bien caractériser l'exposition individuelle et l'équipe de Morrissey (9-4), de Motorola, a présenté quelques données obtenues à l'aide de téléphones mobiles modifiés qui permettent de mesurer certains paramètres d'utilisation tels que position, puissance et orientation.

3- Dosimétrie

3-1. Echauffement

L'échauffement des tissus en contact avec le téléphone mobile ou du cerveau constitue un paramètre important que plusieurs équipes ont tenté de calculer ou de mesurer durant les dernières années. En effet, certains effets biologiques ou symptômes pourraient être générés par l'échauffement de tissus.

À Trondheim en Norvège, le groupe d'Oftedal (P-62) a mesuré l'échauffement sur et dessous l'oreille de volontaires soumis pendant des périodes de 30 minutes aux micro-ondes issues de téléphones mobiles GSM à des niveaux de puissance de 0 ; 0,2 et 2,0 W sans DTX. Les résultats présentés dans la figure ci-dessous montrent que l'échauffement sur l'oreille est largement supérieur à celui observé en dessous de l'oreille.

Output power	Temperature difference (°C)	
	Ear area	Area below the ear
0.0 W	1.00 ± 0.45	0.43 ± 0.20
2.0 W	1.85 ± 0.20	0.65 ± 0.20

Une approche numérique a été utilisée par Pisa et collaborateurs (14-1) pour calculer les échauffements dans l'oreille et le cerveau dus au contact avec le téléphone mobile, à la chaleur émise par le téléphone mobile et aux ondes (DAS) émise par un GSM fonctionnant à 250 mW (puissance moyenne).

Les échauffements locaux sont indiqués sur la figure ci-dessous pour une durée de 15 min. À l'état stationnaire, les valeurs atteintes seraient environ deux fois plus élevées. La circulation sanguine était prise en compte dans ce modèle.

Heating cause	ΔT_{ear} [°C]	ΔT_{brain} [°C]
SAR	0.08	0.02
Phone contact	0.90	0.01
Phone contact + power dissipation in the amplifier	0.94	0.01
Phone contact + power dissipation in the amplifier + SAR	0.98	0.02

Il apparaît que l'échauffement de l'oreille par les ondes est négligeable tandis qu'il est minime mais prépondérant pour le cerveau à cause de la profondeur de cet organe. L'essentiel de l'échauffement de l'oreille est dû à la moindre convection causée par le contact. La valeur de cet échauffement de 1°C est en bon accord avec les valeurs mesurées par Oftedal (cf. plus haut). Un effet thermique sur le cerveau est donc totalement exclu dans la mesure où l'échauffement réel tenant compte de la puissance d'émission du téléphone mobile devrait se situer à la périphérie du cerveau autour de 0,01 °C.

3-2. Sondes de champ électrique

Pour mettre en œuvre les protocoles de certification des téléphones mobiles, on doit disposer de sondes de champ électrique, fiables et précises. Le groupe de Kuster à Zurich (Pokovic, 14-5) a testé dix sondes des marques Aprel, IDX, MFA, Narda et SPEAG afin de déterminer leur qualité. Les sondes ont donc été calibrées dans une cellule TEM au-dessous de 1 GHz et dans des guides d'onde au

delà avec une précision de 5%. L'isotropie sphérique était évaluée selon les normes récemment adoptées au niveau international. Cette anisotropie dépend de la conception de la sonde et des matériaux utilisés. La gamme d'incertitude sur ce facteur allait de ± 0.2 à ± 3.5 dB., sachant que les normes correspondent à une incertitude maximale de ± 1.2 dB. Ceci signifie que certaines sondes ne conviennent pas pour les tests de téléphones mobiles. Celle qui a été mise au point dans le cadre de COMOBIO n'a pas été évaluée.

3-3. Systèmes d'exposition

La qualité des systèmes d'exposition s'est grandement améliorée durant ces dernières années. Ce fut le cas dans le cadre du projet COMOBIO en France et, en vue des expositions prévues dans les programmes européens (Reflex, Perform A et B), l'équipe de Kuster à Zurich a fourni un effort sans précédent pour fiabiliser les expositions animales et cellulaires. Ainsi, cette équipe présentait le travail effectué sur les systèmes de type Ferris wheel (grande roue) pour exposer des dizaines de rats et de souris (5-5). Il s'agissait de mettre au point des systèmes fiables permettant l'exposition de 1500 souris à 900 et 1800 MHz (par lots de 65 animaux), à différents niveaux de DAS, en aveugle et de manière la plus homogène que possible. Il semble que l'objectif soit atteint, mais avec un coût élevé.

Le système d'exposition locale constitué d'une antenne-boucle mise au point au PIOM, à l'IRCOM et par France Telecom R&D (sous-projet 2 de COMOBIO), a été présenté par P. Lévêque (12-6) et bien accueilli. Il s'agit là d'un système simple qui est maintenant très utilisé en France et à l'étranger.

Pour concevoir un système d'exposition in vitro, le groupe de Hamnerius en Suède (P-127), s'est largement inspiré d'une idée de Kuster qui consiste à utiliser un guide d'onde court-circuité et à placer les boîtes de Pétri contenant les cellules sur les ventres de champ magnétique. On obtient ainsi un couplage optimum, une bonne uniformité et un échauffement minimal.

Une étude de Motorola (9-6) s'est intéressée aux performances de 7 dispositifs sensés diminuer l'exposition du cerveau aux micro-ondes. Deux types de systèmes étaient étudiés : le type I consiste en un petit dispositif placé sur le côté ou derrière le téléphone et le type II est une face démontable. L'étude montre clairement que les systèmes de type I ne permettent aucune diminution du DAS que ce soit à 914 MHz ou à 1880 MHz, tandis que le type II diminue fortement la distribution du DAS avec une perte quasi totale de puissance.

4- Modèles biologiques

4-1. Micro-noyaux

Une session spéciale (session 7) était consacrée aux études sur l'effet des micro-ondes sur l'induction des micro-noyaux⁴. Cette session était motivée par le lancement du programme américain CRADA⁵ visant à la réplique d'une étude issue du WTR⁶ et dont les résultats furent rappelés par R. Tice (7-2). Brièvement, une induction de micronoyaux (+4 %) avait été montrée dans des lymphocytes humains exposés à différents signaux issus de technologies américaines (TDMA, CDMA, FM et PCS) pendant 24 heures à un DAS de 10 W/kg. À 5 W/kg, le signal TDMA induisait une augmentation de 2 %. Les principales critiques de cette étude sont (i) la taille des échantillons (un seul donneur par signal, 1 à 2 expérimentations par signal), (ii) les conditions de culture pendant l'exposition, qui ne semblent pas optimales malgré le test de viabilité réalisé, (iii) l'absence de corrélation entre ce test et les autres

⁴ Dommages résiduels de l'ADN issus de cassures de l'ADN ou de la perte d'un chromosome et apparaissant dans les cellules comme un noyau de petite taille (micronoyaux) distinct du noyau cellulaire.

⁵ Cooperative Research and Development Agreement

⁶ Wireless Technology Research

tests de génotoxicité inclus dans cette étude (test des comètes⁷, mutations), (iv) la régulation de la température lors de l'exposition ($37\pm 1^\circ\text{C}$) et les variations de DAS dans l'échantillon.

Dans sa présentation, J.Roti-Roti (7-3) a contredit les résultats présentés en 2000 à ce même congrès et dans son résumé : tout comme le signal FDMA, le signal CDMA n'est pas capable d'induire de micro-noyaux dans des fibroblastes de souris C3H10T1/2 après 24 heures d'exposition à 5 W/kg.

L'équipe de d'Ambrosio (7-4) a présenté la suite de leurs travaux sur les effets des radiofréquences de 1740 MHz sur les lymphocytes humains (8 donneurs sains). Une exposition de 15 minutes à un signal continu et à un DAS de 2 W/kg n'augmente pas de façon significative le nombre de micro-noyaux induits par la mitomycine C, produit chimique génotoxique connu (conclusion différente du résumé). Dans le poster P-82, il était montré qu'une exposition préalable à un signal continu ou modulé GMSK⁸ (15 minutes, 2 W/kg) ne modifie pas significativement le nombre d'aberrations chromosomiques induites dans des lymphocytes humains par une irradiation γ (4 Gy). L'ensemble des travaux de ce groupe italien suggère que la modulation du signal et la valeur du DAS semblent déterminer le potentiel génotoxique des RF, puisque seul le signal modulé GMSK à un DAS de 5 W/kg est capable d'induire des micro-noyaux et ce malgré des temps d'exposition relativement courts (BEMS 2000). En revanche, pour des DAS inférieurs ou égaux à 2 W/kg, aucun effet n'était observé après exposition aux RF, seules ou en combinaison avec un agent génotoxique connu. Cependant, à notre connaissance, aucune tentative d'identification des mécanismes sous-jacents n'a été réalisée.

En collaboration avec l'équipe de J. Roti-Roti, le groupe de M. Meltz, de San-Antonio a montré qu'une exposition de 24 heures et 5 W/kg au signal FDMA n'induisait pas de micro-noyaux dans des lymphocytes humains normaux (7-5). À titre indicatif, une exposition de 90 minutes à des radiofréquences CW de 2450 MHz et un DAS de 12 W/kg n'a également aucun effet sur ce même paramètre.

En conclusion de ce paragraphe, pour des DAS correspondant aux valeurs limites pour l'exposition locale du public, aucun effet génotoxique n'est démontré avec les signaux utilisés en téléphonie mobile. En revanche, dans le cas des expositions professionnelles, les données à 10 W/kg sont encore insuffisantes notamment pour des expositions de courte durée (6 minutes), éventuellement répétées. De plus les conditions d'échauffement à haut niveau de DAS posent question. Enfin, si un effet des radiofréquences modulées à DAS élevé était confirmé sur l'induction des micro-noyaux, la faible amplitude de ces effets (+0,1% de cellules présentant des micro-noyaux) poserait la question de la corrélation avec le phénomène de cancérogenèse (réponse attendue avec les expérimentations animales de Perform A ?).

4-2. Modèles de cancer

Au Japon, Imaida et ses collègues (P-48) ont étudié chez la souris l'effet promoteur du signal TDMA (1500 MHz, DAS local de 2 W/kg, système d'exposition présenté dans P-44) sur les tumeurs de la peau induites par le DMBA⁹. L'ester de phorbol TPA, agent promoteur connu, était utilisé comme contrôle positif. L'exposition aux radiofréquences débutait une semaine après l'application locale de DMBA et durait 90 minutes / jour, 5 jours/7 pendant 19 semaines. Seul le groupe d'animaux exposé à la fois au DMBA et au TPA présentait des tumeurs, contrairement aux groupes DMBA contrôle, DMBA + sham et DMBA + RF. Une critique de cette étude est que les auteurs ont fait l'hypothèse que les RF se comportaient comme un promoteur de tumeur puissant, ce qui est fort peu probable. Des études de co-promotion sembleraient plus adaptées dans le cas de rayonnements non-ionisants de faible puissance.

⁷ Test permettant l'étude des lésions précoces de l'ADN, parmi lesquelles les cassures de l'ADN.

⁸ Gaussian Minimum Shift Key

⁹ DMBA : 7, 12-DiMéthylbenz(a)anthracène, agent chimique cancérogène utilisé dans différents modèles de cancérogenèse dits modèles « initiation-promotion » (tumeurs mammaires, tumeurs de la peau).

4-3 Etudes in vitro

Différentes affiches et présentations étaient consacrés à l'étude des effets des radiofréquences sur l'apoptose¹⁰ cellulaire et l'expression génique et protéique.

L'équipe finlandaise de Juutilainen (P-83) a étudié l'induction de l'apoptose dans deux souches de levures : l'une dite « sauvage », l'autre mutante entrant en apoptose à 37°C. Les levures sont exposées à un signal de 900 MHz avec un DAS de 0,6 W/kg, CW ou modulé GSM, avec ou sans irradiation préalable par des ultra-violets de classe B (UVB). Le temps d'exposition n'est pas indiqué (le groupe était peu représenté au congrès). Seul le signal GSM est capable d'augmenter significativement l'apoptose induite par les UVB, et ce dans la souche mutante uniquement. Aucun effet des RF seules, CW ou modulées, n'est mis en évidence.

L'équipe de D. Leszczynski en Finlande (11-3 et P-129) a montré qu'une exposition d'une heure à un signal GSM-900 « basique » de 2 W/kg était capable de moduler la phosphorylation¹¹ et l'expression de nombreuses protéines, ainsi que l'expression de nombreux gènes dans un modèle de cellules endothéliales d'origine humaine. Ce travail montre en particulier que la protéine HSP27¹² est sensible aux radiofréquences (augmentation transitoire de son expression et de sa phosphorylation). La voie de signalisation cellulaire (transmission de signaux dans les cellules) mise en jeu en aval commence à être élucidée. Les auteurs concluent que les cellules perçoivent les radiofréquences comme un stress mais ne présument pas des conséquences physio-pathologiques possibles.

La qualité de ce travail réalisé dans le cadre du projet Européen REFLEX est indiscutable. Cependant, la présence de gradients de température au cours de l'exposition ne peut être exclue (système thermostaté).

4-4. Barrière hémato-encéphalique (BHE)

La polémique continue entre les quelques groupes qui continuent l'étude des effets de signaux de téléphone mobile sur la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique (BHE). Le groupe de Nagawa au Japon (2-4) vient de réaliser une nouvelle étude chez le rat Sprague-Dawley soumis dans un carrousel à des signaux correspondant au protocole TDMA japonais. Le DAS local moyenné dans le cerveau était de 0,99 W/kg (1 heure/jour pendant 2 ou 4 semaines) ou bien de 7,4 W/kg (une seule exposition de 4 heures). Aucune augmentation de la perméabilité de la BHE n'a été observée dans ces conditions.

À l'inverse, le groupe de Salford et Persson en Suède (2-5, auteurs absents du congrès), continue d'observer des effets à bas niveau de DAS. Ainsi dans le groupe de rats exposés à un DAS local de 0,02 W/kg, l'extravasation d'albumine était plus importante qu'à un DAS de 0,2 W/kg ! De plus, l'effet était plus important en profondeur qu'en surface.

Ce dernier résultat est à rapprocher de celui de P. Aubineau à Bordeaux (sous-projet 6 de COMOBIO), qui a observé une extravasation augmentée dans le cerveau de rats à un DAS de 6 W/kg, qui se voit encore un peu à 1,5 W/kg et plus à 0,5 W/kg. Il existe des incertitudes sur la dosimétrie précise de cette étude. Il a également observé que l'amplitude de l'effet était maximale à un centimètre de profondeur dans le cortex et non en surface. Ceci semble indiquer qu'il s'agit d'un effet indirect des ondes sur une structure qui reste à élucider.

¹⁰ L'apoptose, également appelée mort cellulaire programmée est un phénomène physiologique intervenant dans le maintien de l'intégrité cellulaire, par exemple par l'élimination de cellules porteuses de lésions trop importantes pour être réparées. Ce phénomène peut-être impliqué dans la pathologie cellulaire lorsqu'il est dérégulé.

¹¹ La phosphorylation-déphosphorylation des protéines module l'activation ou la répression de celles-ci.

¹² HSP27 est la protéine de choc thermique de poids moléculaire 27 Kd. Les HSPs constituent une famille de protéines induites en réponse à de nombreux stimuli tels que l'hyperthermie, le stress, les radiations, etc.

Pourtant, des résultats récents issus d'un laboratoire japonais (Masuda et coll. P-51) ne semblent pas indiquer de profondes altérations physiologiques du cerveau de rats. En effet, ces auteurs ont exposé des rats dans un carrousel (signal TDMA japonais) à 1, 4 et 8 W/kg (DAS local moyenné sur le cerveau). Ils ont étudié l'effet sur la micro-circulation périphérique du cerveau en plaçant à demeure une fenêtre en verre à la place d'une portion du crâne. On peut à l'aide de cette technique observer les vaisseaux périphériques *in vivo*. Aucun effet n'a été observé sur le diamètre des vaisseaux et la vitesse de circulation sanguine.

Un autre laboratoire effectue actuellement des études sur la BHE à San Antonio au Texas (centre de recherche militaire US sur les micro-ondes). L'équipe de P. Mason (2-6, P-132) est en train de répliquer les résultats de Salford et Persson, avec leur aide. Les expositions sont en cours à grande échelle mais les premiers résultats, initialement attendus au bout de six mois, n'ont pas fait l'objet de communication récente ou à venir.

4-5. Enzyme ornithine décarboxylase (ODC)

Dans le cadre des programmes finlandais et Perform B, le groupe de Juutilainen et Naarala à Kuopio en Finlande (P-130) a débuté ses études expérimentales sur l'activité de l'ODC dans des cellules soumises aux micro-ondes de téléphones mobiles. L'ODC est une enzyme qui régule la synthèse des polyamines, molécules impliquées dans la prolifération cellulaire et le cancer. Les travaux de Litovitz (qui doivent être répliqués dans le cadre du programme Perform B), avaient montré une augmentation de l'activité de l'ODC sous l'action de micro-ondes.

L'équipe finlandaise a pris de l'avance sur le déroulement de Perform B, qui n'a pas encore démarré, et effectué des expériences à 2,5 et 4 W/kg sur des fibroblastes L929. Le signal à 900 MHz est modulé (GSM) ou continu. Le système d'exposition consiste en une cavité thermostatée. Aucun effet de l'exposition des cellules n'a été observé, mais ces résultats demeurent préliminaires (absence d'analyse statistique et de contrôle positif).

Une autre étude expérimentale de l'activité de l'ODC a été faite par le groupe de L. Anderson à Battelle en collaboration avec la FDA (15-6). Le signal utilisé était celui du système Iridium à 1,62 GHz, qui reste un modèle de signal TDMA. Ce signal est devenu moins pertinent depuis l'abandon du projet de commercialisation de la téléphonie cellulaire par satellite. Le niveau de l'activité ODC était mesuré dans le cerveau de fœtus de rats Fisher 344, exposés *in utero* à des niveaux de DAS de 0,16, 1,6 ou 5,0 W/kg. Cinq cents fœtus ont été exposés et analysés et aucun effet sur l'ODC n'a été observé.

5- Conclusion

La mouture 2001 du congrès de la BEMS n'a donc pas apporté de nouveautés remarquables. La faible fréquentation due à la réduction des crédits nord-américains y était pour beaucoup. Les chercheurs européens y étaient pourtant nombreux, mais la plupart des projets concernant la téléphonie mobile sont en cours de réalisation en Europe, et il faudra plusieurs années pour connaître les résultats des études les plus importantes (Perform-A, Interphone, etc.). La diminution du financement par les entreprises américaines n'est pas clairement expliquée. Deux hypothèses sont proposées : soit les entreprises américaines estiment que la démonstration de l'innocuité des téléphones est suffisante avec les études réalisées jusqu'à présent : on peut penser que c'est effectivement le cas pour le risque de cancer ; soit elles ont évalué que, du moins aux Etats-Unis, que les études soient réalisées ou non, positives ou négatives, cela ne change rien à la polémique et à la commercialisation.

Press Release sur l'étude de Hardell

Press Release June 6, 2001. Presented at the conference *Mobile Telephones and Health – The Latest Developments*, London June 6-7, 2001.

SWEDISH STUDY ON USE OF CELLULAR AND CORDLESS TELEPHONES AND THE RISK FOR BRAIN TUMOURS

Background: The analogue (NMT) cellular telephone system was introduced in Sweden in 1981 operating at 450 MHz and the 900 MHz system started in 1986 (closed in 2000). The digital (GSM) system started in 1991 and is now the most common mobile telephone type in Sweden. The first cordless telephones were available in Sweden in 1988. Microwave exposure from the use of cellular telephones has during recent years been discussed as a potential risk factor for brain tumours. Our first study indicated an increased risk for brain tumours in the most exposed area of the brain. We have now performed a larger study.

Methods: We included in a case-control study 1 617 patients aged 20-80 years of both sexes with brain tumour diagnosed during 1997 – June 30, 2000. They were alive at the study time and had histopathology verified brain tumour. One matched control to each case was selected from the Swedish Population Register. The study area was the Uppsala-Örebro, Stockholm, Linköping and Göteborg medical regions of Sweden. Exposure was assessed by a questionnaire that was answered by 1 429 (88%) cases and 1 470 (91%) controls.

Results: In total use of analogue cellular telephones gave an increased risk with odds ratio (OR)=1.26, 95% confidence interval (CI)=1.02-1.56. With a tumour induction period of >10 years this risk increased further to OR=1.77, CI=1.09-2.86. No clear association was found for digital or cordless telephones. Regarding anatomical area of the tumour and exposure to microwaves, the risk was increased for tumours located in the temporal area on the same side of the brain that was used during phone calls. For analogue cellular telephones OR=2.50, CI=1.28-4.88 was calculated. Use of a telephone on the opposite side of the brain was not associated with increased risk for brain tumours. Regarding different tumour types the highest risk was found for acoustic neurinoma with OR=3.27, CI=1.67-6.43 among analogue cellular telephone users, but an increased risk for also other tumour types could not be ruled out.

Conclusion This study showed an increased risk for brain tumours among users of analogue cellular telephones. No clear association was found with use of digital cellular telephones or cordless telephones, but it is necessary with a longer observation time to rule out an increased risk for these telephone types.

Study Group: Lennart Hardell, MD, PhD, Professor, Department of Oncology, Örebro Medical Centre, S-701 85 Örebro and Department of Natural Sciences, Örebro University, S-701 82 Örebro, Sweden (principal investigator)

E-mail: lennart.hardell@orebtoll.se Phone +46 19 602 10 00 (For more information)

Kjell Hansson Mild, PhD, Professor, National Institute for Working Life, S-907 13 Umeå and Department of Natural Sciences, Örebro University, S-701 82 Örebro, Sweden (responsible for technical aspects)

E-mail: mild@niwl.se Phone +46 70 5916885 (For more information)

Arne Hallquist, MD, PhD, Department of Oncology/Pathology, Karolinska Institute, Radiumhemmet, S-171 76 Stockholm (participated in all aspects of the study)

Michael Carlberg, MSc, Department of Oncology, Örebro Medical Centre, S-701 85 Örebro (responsible for statistical calculations)

Anneli Pålsson, MD, Department of Neurology, Örebro Medical Centre, S-701 85 Örebro (evaluated all histopathology and radiology records)

Anders Lilja, MD, PhD, Associate Professor, Department of Neuroradiology, Karolinska Institute, S-112 35 Stockholm (responsible for assessment of radiology records)

Irène Larsson, Research assistant, Department of Oncology, Örebro Medical Centre, S-701 85 Örebro (co-ordinated the study)

Annexe 4b

Résumés détaillés de la Bioelectromagnetics Society (St Paul, USA, juin 2001)

R. de Seze
INERIS, Verneuil-en-Halatte

SESSION 5 - SYSTEMES D'EXPOSITION RF

5-4 Système d'exposition in vitro modulable et efficace pour des études d'évaluation du risque en double aveugle à 1800 MHz permettant des modulations depuis des fréquences sub-hertziennes jusqu'à 15 MHz. REFLEX, VERUM Foundation Munich. Schuderer (équipe de Niels Kuster, IT'IS)

Le projet REFLEX est un projet financé par la Commission Européenne dans le cadre du 5^{ème} PCRD pour étudier sur des cellules in vitro exposées à des champs radiofréquences : (1) des effets génotoxiques, (2) des effets sur la différenciation et la fonction de cellules souches embryonnaires et de cellules tumorales, (3) des effets sur l'expression des gènes et l'activation des protéines, (4) des effets sur le système immunitaire, (5) des effets sur la transformation et l'apoptose.

Les caractéristiques principales du système réalisé sont :

- une large gamme dynamique : 1 mW à 100 W/kg,
- un système compact,
- un grand volume,
- une bonne homogénéité pour 6 à 8 boîtes de Petri sur 2 niveaux : 1% déviation pour 2 à 5 ml de volume,

La conception et l'optimisation du système ont été réalisées grâce à une plate-forme de simulation FDTD performante appelée SEMCAD incluant la modélisation des échanges thermiques. L'analyse dosimétrique inclue des détails aussi précis que la mesure du ménisque à l'interface solide/liquide et la prise en compte des parties en plastique des récipients et des supports, à 5 μ près, et permet une résolution spatiale de 0,2 mm. La vérification expérimentale a été soigneusement réalisée à l'aide du scanner de champ proche DASY3 équipé d'une sonde de technologie la plus récente.

Résultats

Le système se compose de deux cavités simple mode résonantes à 1,8 GHz réalisées à partir d'un guide d'onde R18 qui peuvent être placées dans un incubateur ordinaire. Les guides d'onde sont excités par des coupleurs bon marché et des courts-circuits faciles et rapides à mettre en place ou enlever. Les contacts de ces deux accessoires ont été recouverts d'or pour assurer leur fiabilité à long terme.

Six boîtes de Pétri de 35 mm peuvent être exposées dans un résonateur. Le support garantit que les boîtes sont placées au maximum de champ H de l'onde stationnaire. Chaque guide est équipé d'un ventilateur. Pour vérifier une exposition stable indépendante de la charge, des capteurs E et H ont été développés pour contrôler le champ incident.

L'amplificateur utilisé a une puissance de 5 W, un switch HF entre les 2 guides d'ondes contrôlé par ordinateur permet d'alterner de façon randomisée en aveugle les expositions réelles ou fictives. Le rapport SAR/H² obtenu peut être de 2 à 3 pour un volume de quelques ml (1 à 4), ce qui permet d'appliquer un DAS de 20 W/kg/W émis avec une homogénéité de

30%. Un générateur de trames GSM a été développé permettant d'alterner les modes de transmission discontinue (DTX) ou le mode de base d'une communication (non-DTX). La température du flux d'air est contrôlée par des sondes DIN 1/10 Pt100 de haute précision placées au sommet des ventilateurs. La réponse en température du milieu a été caractérisée en fonction du champ incident, du flux d'air et du volume de milieu exposé. Ceci permet d'assurer une température identique des échantillons exposés et témoins.

Financements : 5^{ème} programme cadre de recherche et développement de l'Union Européenne (PCRD) et Gouvernement Suisse.

5-5 Systèmes d'exposition in vivo optimisés pour les études d'évaluation du risque lié aux champs radiofréquences utilisés en radiocommunications à 902 et 1747 MHz. Ebert (équipe de Niels Kuster, IT'IS)

Deux systèmes d'exposition in vivo pour souris ont été développés dans le cadre du projet européen Perform A : une étude de toxicologie/carcinogénicité à grande échelle pour l'évaluation du risque à long terme d'une exposition de faible puissance aux champs radiofréquences de la téléphonie mobile (500 animaux par étude avec 65 souris par groupe). Deux études sont des essais chroniques de 2 ans « classiques », combinés de toxicité et carcinogénicité, qui sont réalisés à l'Institut Fraunhofer ITA à Hanovre en Allemagne, tandis que le troisième est une étude de co-carcinogénicité à un signal GSM900 sur des souris transgéniques Eμ-Pim1 au RBM à Ivrea en Italie. Ces systèmes respectent les bonnes pratiques de laboratoire (BPL) et permettent des expériences en aveugle à 3 niveaux de puissance, dont le plus élevé est légèrement inférieur à celui pouvant provoquer un stress thermique (4 W/kg), 1/3 et 1/9^{ème} de cette valeur. Les contraintes dosimétriques étaient : 1) distribution de champ dans l'animal aussi homogène que possible et variation de DAS au cours de la croissance et du vieillissement inférieure à 2 dB ; 2) détermination du SAR dans chaque organe ; 3) affichage et enregistrement des paramètres pertinents de l'étude toutes les 10 secondes (température, humidité, oxygène, intensité du champ électrique).

La conception et l'optimisation du système ont été réalisées grâce à une plate-forme de simulation FDTD performante appelée SEMCAD incluant la modélisation des échanges thermiques. La vérification expérimentale a été soigneusement réalisée à l'aide du scanner de champ proche DASY3 équipé d'une sonde de technologie la plus récente.

Le principe de ces systèmes d'exposition pour souris est inspiré de la roue de Ferris (Ferris-wheel) développée par Motorola à 900 MHz. La distance entre le court-circuit et la souris a été optimisée pour une homogénéité maximale. Des cloisons de forte permittivité ont été insérées entre deux animaux voisins pour minimiser le couplage entre les deux.

Les matériaux ont été choisis non toxiques, il n'a pas été placé de métal près des animaux, les tubes des souris ont été scellés par une plaque métallique dans les couvercles des tubes. La lumière suit un cycle jour-nuit 12/12.

Le système permet d'exposer 65 souris à la fois, et répond aux contraintes des études chroniques, c'est-à-dire qu'ils sont faciles à remplir et à vider, et à nettoyer. L'émission se fait par une antenne conique, alimentée par un générateur et un amplificateur de 200 W à 900 MHz. Les tubes sont en polycarbonate. Le contrôle continu des paramètres permet de compenser d'éventuelles dérives d'intensité liées à l'électronique. Un syntoniseur à 3 ports (stubs ?) permet une grande efficacité (moins de 2 dB de pertes) tout en conservant une adaptabilité maximale pour prendre en compte les variations de taille et de poids des animaux. La mise au point de la ventilation à partir des différents capteurs pour satisfaire aux BPL a nécessité de nombreux ajustements. Il a de plus fallu utiliser de l'acier inoxydable.

Financements : 5^{ème} PCRD, Gouvernement Suisse, Mobile Manufacturer Forum (MMF : Motorola, Ericsson, Nokia, Alcatel, Mitsu??), GSM Association.

5-6 Critères pour sélectionner des conditions d'exposition électromagnétique spécifiques d'études biologiques dans un contexte d'évaluation du risque.

Kuster

La définition de signaux spécifiques d'éventuels effets biologiques est évaluée avec l'objectif de majorer la signification de résultats négatifs en vue de la sécurité de la technologie testée à l'aide d'un minimum d'expériences.

Fréquence de la porteuse RF : ni les résultats expérimentaux ni les mécanismes d'interaction évoqués ne suggèrent une dépendance biologique de la porteuse autre que la profondeur de pénétration et la distribution dans les tissus qui s'ensuit.

Fréquence de modulation ELF : de nombreuses publications ont montré des effets dépendants de la fréquence de modulation, notamment à moins de 100 Hz, avec une prédominance autour de 16 Hz. Les résultats sont cependant controversés. On connaît mal la dépendance de ces effets en fonction de la puissance spectrale des composantes de la modulation. Un effet de masquage sur des effets d'une modulation cohérente a été décrit pour des champs RF modulés par du bruit. On connaît encore moins le rôle de la profondeur de pénétration ou des caractéristiques spécifiques des signaux dans le domaine temporel. Il n'y a cependant pas de base biophysique qui laisserait supposer une sensibilité augmentée de façon inversement proportionnelle à la puissance spectrale. On tend donc à augmenter le contenu spectral des signaux testés¹.

Intensité du champ : en dessous du seuil thermique, les résultats des études en fonction de l'intensité ne sont pas concluants. Dans beaucoup d'études des systèmes mal conçus ont été utilisés, avec une mauvaise définition des niveaux d'exposition à plusieurs ordres de grandeur près. Le rôle du taux de remplissage dans les émissions par impulsions n'a pas été correctement évalué. On ne peut donc pas faire une analyse détaillée des résultats en fonction de la dosimétrie ou des paramètres de la modulation. Certains auteurs ont prôné l'existence de fenêtres d'intensité, mais dans le cas général, l'hypothèse d'une relation linéaire des effets en fonction de la dose à partir d'un seuil doit constituer le modèle initial tant qu'il n'y a pas un modèle d'évidence différent. Il est donc indiqué d'utiliser plusieurs niveaux d'intensité en dessous des niveaux thermiques. Au minimum, la puissance moyennée sur le corps entier de l'animal devrait être indiquée. La séparation entre les niveaux de dose devrait être nettement supérieure à la déviation-standard de l'inhomogénéité de l'exposition.

Intermittence de l'exposition : l'intermittence des cycles on/off est un facteur généralement accepté dans le mode d'action des substances promotrices du cancer. La répartition des cycles on/off peut être inspirée d'expositions quotidiennes typiques, mais devrait plutôt être choisie en fonction des paramètres biologiques étudiés : cycle cellulaire, rythme respiratoire de la cellule, rythme circulatoire,

Dans une conversation habituelle, il y a en moyenne 50% de temps de parole, et le mode de transmission discontinue (DTX) pendant le temps d'écoute amène à réduire la puissance d'émission à 34% de sa valeur nominale. Pour le projet Perform A, 3 phases de 40 minutes ont été définies, correspondant respectivement au signal d'un temps de parole seule, d'un temps de conversation, d'une phase de déplacement dans l'environnement (en voiture sur autoroute pour un passager par exemple).

Les paramètres de l'exposition doivent être soigneusement évalués en fonction des hypothèses posées et viser à accroître la significativité des résultats, s'ils sont positifs et encore plus s'ils sont négatifs.

¹ contradictoire : si on augmente le « contenu » spectral, cela revient pour une puissance disponible identique, à élargir la bande de fréquence (ou de fréquences de modulation) et à diminuer la puissance spectrale de chaque composant !

Session 6 – Etudes humaines

6-3 A DAS pic identique, la réponse thermophysiological humaine à une exposition RF dépend de la fréquence porteuse. E. Adair, USAF, Brooks Air Force Base

Plusieurs études antérieures ont porté sur l'exposition de volontaires humains pendant 45 minutes à des champs RF émis de façon continue à des DAS différents et à trois températures ambiantes : 24, 28 et 31°C. Aux fréquences précédemment étudiées de 450 et 2450 MHz, a été rajoutée récemment la fréquence de 100 MHz, une fréquence proche de la résonance pour un adulte assis. Un protocole maintenant standardisé a été utilisé pour ces différentes études, consistant en 30 minutes d'équilibration, 45 minutes d'exposition réelle ou fictive, 10 minutes de « récupération ». Les paramètres thermophysiological mesurés sont toujours les mêmes : la température oesophagienne et 6 températures cutanées (dont : avant-bras, front, poitrine, bas du dos, haut du dos), la production de chaleur métabolique, le taux de sudation local, et le flux sanguin cutané local. La fréquence porteuse, dont dépend la profondeur de pénétration de l'énergie, conditionne la stimulation sélective des récepteurs thermiques cutanés ou profonds (cerveau, moelle épinière, viscères). Le premier effet de ces récepteurs lorsque leur température change, est une modification de leurs potentiels d'action spontanés. A 100 MHz, les récepteurs thermiques profonds sont stimulés directement par l'énergie RF pénétrant profondément, quasiment à l'exclusion des récepteurs périphériques parce que la température centrale augmente alors que la peau exposée s'échauffe à peine.

Les études ont été réalisées sur 7 personnes par groupe, âgées de 21 à 74 ans, mâle et femelle, pesant entre 50 et 110 kg.

Un DAS pic local de 8 W/kg est produit par une densité de puissance dépendante de la fréquence RF :

100 MHz	8 mW/cm ²
450 MHz	18 mW/cm ²
2450 MHz	27 mW/cm ²

Par exemple à 31°C et un DAS local pic de 8 W/kg, l'échauffement stabilisé de la partie du dos exposée était de 1,8°C à 2450 MHz, 0,8°C à 450 MHz et -0,5°C à 100 MHz. Les modifications associées de température oesophagienne sont nulles à 2450 MHz, 0,1°C à 450 MHz et 0,3°C à 100 MHz. Il se produit donc un échauffement profond direct qui modifie le seuil de sudation et le flux sanguin périphérique. La sudation était plus augmentée à 100 MHz qu'à 450 ou 2450 MHz, semblant activée par la stimulation des thermorécepteurs profonds. Une modélisation FDTD d'un adulte debout ou assis a été effectuée, avec des coupes passant par le plan sagittal (plan du tronc cérébral et de la moelle épinière) et des coupes para sagittales. Il a été montré qu'à cette fréquence de 100 MHz, il existe une absorption importante des cuisses et des chevilles. En plus des six localisations habituelles, à cette fréquence, la température a donc été mesurée au niveau de la cuisse. C'est la seule partie du corps pour laquelle une sensation d'échauffement est manifestement perceptible pendant une exposition à 100 MHz. A part ça, une impression globale de chaleur croissante est perçue au fur et à mesure des 45 minutes d'exposition, mais pas de sensation définie d'échauffement périphérique, tel que ça se produit pendant les expositions à 450 ou à 2450 MHz.

La température augmente pendant la phase d'équilibration. Le taux de production de chaleur métabolique était inchangé, mais le flux sanguin cutané était modifié. A des températures ambiantes inférieures, l'augmentation de température à 2450 MHz était plus importante.

Poster P-24 - Temps de réaction sous exposition à des signaux RF de faible puissance reçus de stations de base GSM-900 – Scanlon

Dix volontaires mâles ont été exposés à un signal d'une station de base TDMA GSM-900, à une densité surfacique de puissance (DSP) de $0,28 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Une gamme de DSP typique d'expositions autour de stations de base est $0,1 \text{ nW}/\text{cm}^2$ à $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Les temps de réaction ont été mesurés dans une chambre anéchoïque et dans un laboratoire. Le champ dans le laboratoire provenant des stations de base environnantes était 48 dB inférieur à celui produit dans la chambre lors de l'émission. Le champ dans la chambre hors émission était inférieur au bruit de fond de l'analyseur, soit plus de 61 dB inférieur à celui produit par l'exposition. Dans la chambre, 5 volontaires étaient

SESSION 7 – RF ET MICRONOYAUX

7-1 Mécanismes d'induction des micronoyaux – G. Krishna

Deux mécanismes d'induction des micronoyaux sont la production de fragments de chromosomes dans le noyau au décours de croissance ou de la vie de la cellule (dite action « clastogénique ») et la séparation asymétrique des chromosomes entiers dans les cellules filles lors de la division cellulaire (dite action « aneugénique »).

7-2 Génotoxicité de signaux RF – Etude des lésions de l'ADN et de l'induction de micronoyaux dans des cellules sanguines humaines en culture – Graham J. Hook

L'induction de micronoyaux a été recherchée sur des globules blancs de sang humain (appelés « leucocytes », leuco en grec signifiant « blanc », par opposition aux globules rouges). Une partie de ces leucocytes sont des lymphocytes, cellules spécifiques du système immunitaire qui constituent à l'état normal chez un sujet en bonne santé 20 à 30% de la totalité des leucocytes. Les signaux RF évalués étaient des signaux à 837 MHz modulés par une communication vocale produits par un générateur analogique ou un téléphone cellulaire TDMA (Time Division Multiple Access, technologie nord-américaine), des signaux RF à 837 MHz produits par un téléphone cellulaire CDMA (Code Division Multiple Access, autre technologie nord-américaine), et des signaux RF à 1909,8 MHz modulés par une communication vocale produits par un téléphone GSM type PCS (Personal Communication System). Les lésions de l'ADN (ruptures de brins ou sites labiles en milieu alcalin) étaient évaluées à l'aide du test sur cellule isolée en gel (Single Cell Gel Assay ou SCG appelé « test de comète ») en milieu alcalin ($\text{pH} > 13$). Les lésions chromosomiques ont été évaluées sur des lymphocytes stimulés après l'exposition par un mitogène pour se diviser. Un agent bloquant le développement de la cellule après sa division, la cytochalasine B, était utilisé pour mettre en évidence les micronoyaux (technique du bloc cytokinétique ou « cytokinesis block technique »). L'exposition avait lieu pendant 3 ou 24 h dans une cellule TEM thermostatée à $37 \pm 1^\circ\text{C}$. Les DAS utilisés étaient de 1, 5 et 10 W/kg.

Il n'a pas été observé de lésion de l'ADN dans les globules blancs exposés pendant 3 ou 24 heures. Il n'y a pas eu d'augmentation des micronoyaux dans les lymphocytes exposés pendant 3 h. Mais pour les 4 signaux utilisés, l'exposition pendant 24 h à un DAS de 5 ou 10 W/kg a produit une augmentation significative et reproductible de la fréquence des micronoyaux. L'amplitude de la réponse, un facteur 4, était indépendante de la technologie, de la modulation vocale et de la fréquence porteuse. Des signaux RF peuvent donc produire au bout de 24 h d'exposition des lésions des chromosomes à un DAS supérieur à 5 W/kg.

7-3 Effet de champs RF FDMA 835,62 MHz ou CDMA 847,74 MHz – Roti Roti

Des cellules du tissu conjonctif d'embryons de souris appelées fibroblastes (cellules C3H10T1/2) ont été exposées pendant la phase de croissance exponentielle ou la phase de plateau. Les micronoyaux (MN) étaient détectés après division sous forme de cellules bi nucléées par un colorant, l'acridine orange, après application de cytochalasine B pendant 22 h. Le pourcentage de cellules bi nucléées avec un micronoyau et le nombre de micronoyaux pour 100 cellules bi nucléées ont été calculés. Une augmentation des micronoyaux est produite par une exposition à 0,3 Gy de radiations ionisantes². Aucune induction de micronoyaux n'a été observée quelle que soit le signal, la durée de l'exposition (3, 8, 16 ou 24 h) et le DAS (3 à 5 W/kg). Les résultats préliminaires présentés dans l'abstract n'ont pas été confirmés : il avait été indiqué qu'avec 24 h d'exposition et un DAS de 5 W/kg, et avec le signal CDMA seulement, le pourcentage de cellules avec des MN était augmenté de 36% et le nombre de MN pour 100 cellules bi nucléées était augmenté de 50%. Cette présentation ne confirme pas les effets présentés par Hook dans l'abstract précédent.

7-4 Effets combinés entre des microondes CW et la mitomycine C – G. d'Ambrosio

Dans une étude antérieure, des lésions cytogénétiques ont été trouvées sur des cultures de lymphocytes humains par la technique du bloc cytokinétique après 15 minutes d'exposition à un DAS de 1,5 à 5 W/kg à des microondes à 1,748 GHz modulées GMSK³ ou GMSK + TDMA. Une première étude a été réalisée dans une chambre constituée par un couple de transitions entre un câble coaxial et un guide d'ondes rectangulaire. La fréquence des MN était augmentée après exposition à un signal modulé GMSK mais pas avec un signal continu (CW) (G. d'Ambrosio, EBEA 1998). Le même effet a été observé dans une chambre plus grande avec un DAS plus homogène et un signal modulé TDMA à un DAS supérieur à 2 W/kg (G. d'Ambrosio, BEMS 2000). Dans cette nouvelle étude, les lymphocytes ont été exposés pendant leur phase de plateau (ou de repos : elles sont dites « quiescentes »). Des échantillons de 2 ml de sang entier ont été exposés pendant 15 minutes à un DAS de 2 W/kg à des microondes CW à 1,748 GHz. L'effet combiné de la mitomycine C⁴ (MMC) à une concentration de 75 µM a été également étudié. Il n'a pas été observé d'effet de l'exposition CW sur la fréquence des MN. Une augmentation à la limite de la significativité est observée pour les échantillons traités par la MMC et exposés, comparés à ceux seulement traités par la MMC ($p = 0,05$). Une étude sur un plus grand nombre de donneurs permettra d'approfondir la réalité de cet effet.

7-5 Micro Noyaux dans des lymphocytes humains exposés à des RF – Vijayalaxmi

Les échantillons de sang de volontaires ont été exposés in vitro pendant 24 h à un rayonnement RF à 835,62 MHz CW FDMA avec un DAS de 5 W/kg (860 W/m²) ou pendant 90 minutes à 2450 MHz et un DAS de 12,5 W/kg (50 W/m²). Les cellules du contrôle positif ont été exposées à 1,5 Gy d'une irradiation gamma. De suite après l'exposition, les lymphocytes étaient mis en culture pour 72 h et de la cytochalasine B était ajoutée au bout de 44 h. La cinétique de la prolifération cellulaire était évaluée par la fréquence des cellules bi

² Cette dose est légèrement supérieure à celle tolérée pour recommander à une femme enceinte qui y aurait été exposée de conserver son bébé (0,2 Gy)

³ Gaussian Minimum Shift Keying

⁴ la mitomycine C est une substance anticancéreuse qui possède des propriétés cytotoxiques. Elle peut en particulier produire une augmentation de la fréquence des micronoyaux.

nucléées et les lésions étaient évaluées par le nombre de MN. Il n'a pas été observé de différence de ces deux paramètres entre les échantillons exposés et ceux qui ne l'étaient pas.

SESSION 8 – ETUDES ANIMALES

8-1 Modifications des propriétés diélectriques de cerveaux de cochons après la mort – G. Neubauer

La conductivité du cerveau de cochons a été mesurée sous anesthésie puis jusqu'à 18 h après la mort. Elle passe de 1,09-1,39 à 1,02, ce qui indique une légère décroissance, faiblement significative. La permittivité ne varie pas dans le même temps.

8-3 Effet d'ondes millimétriques sur la toxicité médullaire de la cyclophosphamide – M. Logani

Des ondes millimétriques fréquemment utilisées en Russie dans certains traitements ont été utilisées pour tester leur effet protecteur vis à vis d'une substance anticancéreuse toxique pour la moelle osseuse : le cyclophosphamide. Le rayonnement a une fréquence de 42,2 GHz, est émis avec une modulation non précisée par les auteurs, avec un DAS pic de 600 W/kg (DSP : 300 W/m²). Les résultats sont négatifs (pas d'effet protecteur).

8-4 Effets d'une exposition à des ondes électromagnétiques haute fréquence chez des rats sur la mémoire de référence dans une structure en T – H. Yamaguchi

La mémoire est composée d'une mémoire à court-terme dite « mémoire de travail », et d'une mémoire à long-terme dite « mémoire de référence ». Cette étude évalue l'effet de rayonnements RF sur la mémoire de référence. Wang et Lai ont publié un effet sur la mémoire dans piscine de Morris d'un rayonnement à 2450 MHz émis par impulsions de 2µs avec une fréquence de répétition de 500pps, un DAS de 1,2 W/kg, appliqué 1 h par jour pendant 6 jours. Cet effet peut être dû à la perception acoustique des microondes ou à un DAS pic local ou temporel (DAS temporel pic : 1200 W/kg).

Le rayonnement appliqué dans cette étude a une fréquence de 1439 MHz (système japonais PDC : Personal Digital Communication). Le DAS moyenné dans le cerveau était de 7,5 W/kg et moyenné sur le corps entier de 1,7 W/kg, ou de 25 W/kg dans le cerveau et 4,5 W/kg sur le corps entier. Les 3 bras de la structure en T avaient une longueur de 90 cm. Les animaux subissaient pendant l'étude une restriction de nourriture avec 75% de la quantité qu'ils mangeraient spontanément. Après 5 jours d'habituation à la structure, les rats sont soumis à 16 essais par jour pendant 4 jours pour trouver du premier coup de la nourriture dans une branche, toujours du même côté. S'ils la trouvent, ils la mangent ; s'ils sont du mauvais côté, ils sont immédiatement sortis du système. Après 4 jours d'exposition à 7,4 W/kg pendant une heure ou à 25 W/kg pendant 45 minutes, la nourriture est changée de côté et les rats sont à nouveau placés dans la structure pour 16 essais par jour pendant 4 jours.

La dosimétrie a été réalisée sur 4 rats, 4 fantômes. Un système de ventilation limite les variations thermiques mesurées par un thermomètre à fibre optique. Une modélisation a été réalisée à partir d'une source monopole sur des rats de 370, 520 et 770 g.

Une diminution du nombre de choix corrects a été observée à 25 W/kg mais pas à 7,4 W/kg, accompagnée d'une augmentation de température de 2°C en 60 minutes. L'effet sur la mémoire peut donc être un effet thermique.

8-5 Effet combiné d'un rayonnement RF et d'un agent physique carcinogène (rayons X et UV) sur la fréquence des micronoyaux chez la souris – P. Heikkinen (Equipe de Juutilainen, Kuopio, Finlande)

Les micronoyaux ont été recherchés dans une catégorie particulière de globules rouges appelés « érythrocytes polychromatiques ». Aucune différence n'a été observée entre les groupes contrôle, exposés aux RF seulement (0,35 à 1,5 W/kg) ou aux RF plus rayons X (4 Gy en 3 fois à une semaine d'intervalle) ou UV (240 J/m² 3 fois par semaine pendant toute l'étude : 52 semaines). On remarque cependant que la fréquence n'est pas non plus augmentée avec les rayons X ou les UV, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions de cette étude : pas de contrôle positif, donc pas d'indicateur de la sensibilité du paramètre mesuré.

8-6 Effet d'une exposition corps entier à des microondes GSM-1800 sur des rats porteurs de tumeurs induites par le DMBA – R. Anane (Equipe de B. Veyret, Bordeaux, France)

Des rats chez lesquels des tumeurs ont été provoquées par ingestion de DMBA ont été exposés à un rayonnement microonde GSM à 1800 MHz, deux heures par jour 5 jours par semaine pendant 9 semaines, à des DAS de 0,1, 1,4 et 3,6 W/kg. Le nombre moyen de tumeurs par animal n'a pas été significativement modifié.

6-4 Effet antalgique comparatif d'une exposition à des ondes millimétriques sur différents modèles de douleur expérimentale. Radziewsky

On distingue deux types de douleurs : neuropathiques ou non-neuropathiques. Les douleurs chroniques neuropathiques sont difficiles à traiter, soit qu'elles ne cèdent pas aux médicaments, soit que les médicaments provoquent des effets secondaires intolérables. La thérapie par ondes millimétriques est utilisée dans les pays de l'Est depuis plus de 25 ans, que ce soit sur les douleurs neuropathiques ou non. Il n'a jusqu'alors pas été réalisé d'analyse quantitative de cet effet antalgique. C'est le but de cette étude de faire une analyse quantitative d'une application d'ondes millimétrique sur plusieurs modèles de douleurs chez la souris. Le test de retrait de la queue en eau chaude (hot water tail flick-test : hTFT) permet d'évaluer un effet sur une douleur aiguë. Le test de retrait de la queue en eau froide (cold water tail flick-test : cTFT) simule une douleur chronique non neuropathique. Le test de la surface froide à 1°C (sensibilité thermique ou cold surface test : CST) et le test de la cage grillagée (sensibilité mécanique ou wire cage test : WCT) évaluent la douleur neuropathique de souris après lésion unilatérale par ligature prolongée du nerf sciatique. Ces tests ont été appliqués avant et après une exposition de 15 minutes en regard du museau des souris immobilisées mais non anesthésiées aux ondes millimétriques, dont les paramètres sont : 61,22 GHz, 15 mW/cm²,

Le temps de retrait était doublé pour le test cTFT (latence : 200 à 250% de la ligne de base), et augmenté de 50% pour le test hTFT. La différence n'était pas significative pour les tests de douleur chronique neuropathique.

Des études antérieures avaient montré que l'effet des ondes millimétriques était bloqué par injection de naloxone, ce qui indique que les opioïdes endogènes sont impliqués comme médiateurs de l'analgésie ainsi induite.

Perspectives : étudier si les ondes millimétriques peuvent moduler d'autres types de récepteurs et si des expositions répétées pourraient supprimer ou atténuer des douleurs neuropathiques.

⁵ la dose de référence chez l'homme est la Dose Erythème Minimum = 200 J/m², soit 1,2 fois inférieure

SESSION 9 - TELEPHONIE MOBILE

9-1 Localisation optimisée de BTS pour minimiser l'impact environnemental. **G. Cerril**

L'objectif de cette méthode est d'assurer une bonne qualité de service tout en maintenant une exposition électromagnétique minimale. Le code numérique utilisé pour cela est basé sur l'algorithme génétique. Les paramètres d'entrée fixés sont :

- une couverture radio supérieure à une valeur donnée
- le champ électromagnétique à la frontière d'une région donnée inférieur à une valeur donnée

La procédure d'optimisation tente « d'étendre » le champ des valeurs les plus hautes vers les valeurs les plus basses. Les données d'entrée sont : le nombre des antennes, leur position, la puissance émise par chaque antenne et son gain, la hauteur et l'inclinaison verticale (tilt) des antennes, les caractéristiques topographiques et d'urbanisation. Les données de sortie sont la position des antennes, leur puissance et leur tilt. Les sites sensibles (écoles, hôpitaux : moins de 1 V/m) sont implémentés, ainsi que certains sites exclus comme les centres historiques. Le trafic et les interférences entre antennes peuvent également être implémentées.

Le niveau de champ dans les zones de passage, où le temps de séjour des personnes est le plus souvent inférieur à 4 h, est limité à 20 V/m. Le niveau de champ dans les zones où les personnes peuvent séjourner plus de 4 h par jour (domiciles, bureaux) est limité à 6 V/m. Sur l'exemple présenté de la ville d'Ancône, par rapport à la configuration initiale, la configuration optimisée ne montre plus de zone exposée à plus de 6V/m.

9-2 Antennes BTS dans des environnements complexes : exposition RF dans des zones contrôlées. Bitz, (équipe de Hansen, Wuppertal, Allemagne)

Une méthode hybride permet de tenir compte de l'environnement complexe des antennes : la méthode des éléments aux frontières (Boundary Element Method : BEM) permet de prendre en compte des réseaux d'antennes avec des réflecteurs multiples et des sous-réflecteurs, la méthode des éléments finis (Finite Element Method : FEM) permet de considérer les matériaux hétérogènes comme des radômes diélectriques, tandis que la théorie uniforme de la diffraction (Uniform Theory of Diffraction : UTD) prend en compte les structures diffusantes et les objets électriques de grandes dimensions. L'interface entre cette méthode hybride et la méthode FDTD pour l'évaluation des champs dans le corps humain se fait par le principe de Huygens : les courants électriques et magnétiques de surface sur un modèle de corps basé sur « l'homme visible » sont déduits de la distribution du champ incident obtenue par la méthode hybride.

9-3 Mesure du champ électrique dans des pièces près de stations de base. **Eicher**

En Suisse, les limites d'exposition du public sont basées sur les recommandations de l'ICNIRP. Cependant, pour les lieux de vie tels que les appartements et les bureaux, le principe de précaution se traduit par l'adoption d'un facteur 10 supplémentaire, définissant les « valeurs limites d'installation ».

La vérification du respect de ces valeurs nécessite des mesures fiables : précises et reproductibles. Les sondes isotropiques ne sont pas sélectives en fréquence. Le choix d'antennes anisotropes est limité. L'antenne PBA 10200 du Centre de Recherche autrichien de Seibersdorf (ARCS) a été testée en combinaison avec une méthode de mesure dans les trois directions de l'espace (système Add3D).

Le champ maximum mesuré dans une pièce proche d'une antenne, extrapolé au trafic maximum et à la puissance maximum autorisée pour la station de base (règles BCCC), est de 8 à 24 V/m. Les valeurs mesurées avec une sonde isotropique sont identiques. La distribution de mesures répétées en plusieurs points suit une distribution semi-logarithmique, traduisant la rareté des points maximum et la nécessité de réaliser des mesures en plusieurs points.

9-4 Un téléphone dosimètre pour évaluer l'exposition des études épidémiologiques en cours. J. Morrissey, Motorola

L'évaluation de l'exposition d'après les factures peut entraîner des erreurs importantes. Des variations importantes peuvent être dues à la taille, la forme et la position de la main et de la tête, la puissance constamment variable du téléphone, le modèle, le type et la position du téléphone lors de son utilisation. Des téléphones adaptés ont été réalisés pour évaluer plus précisément l'exposition sur un échantillon de population.

9-5 Effet de la taille de la tête sur le DAS de téléphones mobiles à 835 et 1900 MHz. O. Gandhi

Om Gandhi maintient que le DAS produit par des téléphones mobiles dans la tête d'enfants est 20% plus important que dans des têtes d'adultes (différence nettement inférieure à celle annoncée dans l'abstract de 30 à 45%). Pour son calcul, il se base sur des facteurs d'échelle de 0,67 et 0,76 qui ne sont pas réalistes, car la tête d'un enfant de 3 ans représente environ déjà 90% de celle d'un adulte. De plus, la taille du cerveau est déjà quasiment celle du cerveau adulte. Il est donc erroné d'appliquer un facteur d'échelle à l'ensemble de la tête. L'épaisseur considérée pour le pavillon est de 8 à 24 mm. Ce calcul a été réalisé en prenant comme modèles de téléphones un dipôle $\lambda/2$ (plus précisément $0,45 \lambda$), un monopôle $\lambda/4$ et une antenne hélicoïdale.

Le DAS calculé pour le pavillon est de 8,7 W/kg à 1800 MHz, 2,7 W/kg à 900 MHz. Il est important de prendre en compte le pavillon de l'oreille et de ne pas le modéliser par une épaisseur de plastique non absorbant.

9-6 Tester l'efficacité de sept écrans anti-rayonnement pour téléphones cellulaires. P. Oliver, Motorola

Le DAS et le rayonnement de téléphones ont été mesurés, équipés ou non de 7 dispositifs anti-rayonnement. La distribution du DAS pic moyenné sur 1 g a été mesurée grâce au système d'analyse automatique DASY, commercialisé par Schmid and Partner Engineering AG, Zurich (SPEAG). Le diagramme de rayonnement a été mesuré dans une chambre anéchoïque conforme aux normes ANSI, le téléphone étant tenu par une personne au milieu de la chambre de mesure.

Deux types de dispositifs ont été identifiés : ceux qui consistent à rajouter un dispositif sur le haut ou le côté du téléphone (type I) et ceux qui interposent une surface importante entre le téléphone et la face ou enveloppent le téléphone (type II).

Aucun des dispositifs testés du type I n'a produit une diminution du DAS à 900 et à 1800 MHz ou du rayonnement émis par les téléphones. Les différences mesurées étaient inférieures à 5%.

Pour les dispositifs du type II, une nette diminution du DAS a été mesurée, mais celle-ci s'accompagne d'une diminution proportionnellement supérieure de la puissance totale rayonnée nécessaire à la communication. Ceci conduit le téléphone soit à être complètement inefficace, soit à augmenter sa puissance d'émission en compensation du dispositif utilisé. Le cas extrême est un DAS relatif de 2% à 896 MHz, avec une diminution de la puissance totale rayonnée à 0,9%.

SESSION 14 - DOSIMETRIE RADIOFREQUENCE

14-1 Echauffement de la tête d'un utilisateur de téléphone cellulaire : effet du DAS et du contact avec le téléphone – P. Bernardi

En plus du DAS, deux autres facteurs participent à l'échauffement de la tête : le contact avec le téléphone qui bloque les échanges thermiques liés à la convection dans l'air ambiant et l'échauffement du téléphone lui-même dû à la puissance dissipée dans le circuit RF. En supposant un rendement de 50% de l'amplificateur, l'élévation de température de l'oreille et de la tête d'un utilisateur au bout de 15 minutes d'exposition a été calculée. La température de l'oreille même sans que le téléphone émette, s'élève de 0,9°C ; l'augmentation au niveau du cerveau est inférieure à 0,01°C. La dissipation de puissance dans le téléphone et la puissance absorbée due au DAS modifient peu ces valeurs : 0,98°C sur l'oreille et 0,02°C dans le cerveau.

14-2 Efficacité de vêtements de protection blindés près d'un émetteur radio AM : utilité de l'évaluation des courants corporels – D. Conover

La mesure des champs lors de l'utilisation de vêtements protecteurs est peu fiable. La mesure des courants corporels au niveau des poignets ou des chevilles permet d'attester l'efficacité de ces vêtements en montrant une réduction d'un facteur 3-4 des courants corporels (8-13 dB).

14-3 Formules et caractérisation de liquides équivalent-tissus utilisés pour la mesure des DAS – Ballen (Equipe de Balzano, Motorola, Fort Lauderdale, USA).

Une méthode graphique permet d'évaluer les bonnes concentrations en sel (%NaCl : 1,5%) et en sucre (% sucre : 55%) permettant d'obtenir les caractéristiques diélectriques souhaitées pour un milieu dans une gamme de fréquences donnée.

14-6 Est-ce que les accessoires « mains libres » augmentent le DAS dans la tête humaine lors de l'utilisation d'un téléphone mobile ? C.K. Chou (Equipe de Balzano, Motorola, Fort Lauderdale, USA).

Des mesures correctes dans un fantôme réaliste avec une sonde isotropique sensible et de bonne résolution montrent que le DAS produit dans la tête par l'utilisation de l'accessoire « mains libres » est inférieur à 5% de celui produit par l'utilisation du téléphone directement au contact de la tête.

Annexe 4c

Session spécifique sur

Radiofréquences et barrière hémato-encéphalique (BHE)

au congrès de la Bioelectromagnetics Society
(St Paul, USA, juin 2001)

Synthèse

Les groupes de Lin et de Merritt n'ont observé une perméabilisation de la BHE qu'à des DAS très élevés de l'ordre de 80 W/kg. Une perméabilisation a été observée dans des travaux anciens par certains groupes à 3-5 W/kg (Polyaschuk, Frey, Albert), mais pas par d'autres plus récemment (Nagawa). Le DAS produit lors de la perméabilisation par une exposition IRM n'a pas été évalué ou calculé (Prato). Enfin, deux groupes ont trouvé une perméabilisation à des DAS nettement plus faibles (Salford : 1 mW/kg, et Fritze). Cette perméabilisation peut avoir des applications thérapeutiques (Lin).

Globalement, il apparaît peu probable qu'une perméabilisation se produise sans échauffement important du cerveau. Cependant, les travaux récents d'Aubineau dans le cadre du programme COMOBIO indiquent que le DAS seuil sur ce phénomène est du même ordre de grandeur que la valeur limite de DAS local recommandée par la Commission Européenne et l'ICNIRP : 2 W/kg moyennés sur 10 g.

Il est donc important de préciser la dosimétrie pic à la surface du cerveau dans ces études chez l'animal expérimental et chez l'homme, et de déterminer la cible primaire d'interaction du champ électromagnétique et les mécanismes qui sont à l'origine de l'effet observé.

Rappel sur la barrière hémato-encéphalique

La barrière hémato-encéphalique (BHE) empêche le passage de certaines molécules du sang vers les tissus cérébraux. Elle est constituée par les jonctions extrêmement serrées entre les cellules qui bordent les vaisseaux (cellules endothéliales). A l'inverse, dans les autres tissus, les cellules endothéliales sont espacées sous la couche fibreuse qui les entoure, laissant traverser sans difficulté les protéines et autres molécules de taille moyenne véhiculées dans le sang. Le seul accès au parenchyme cérébral se fait donc à travers les membranes cellulaires pour les molécules liposolubles, ou par transport actif pour certaines autres grâce à des molécules spécialisées exerçant la fonction de transporteur ou de récepteur. Une première couche de cellules l'entoure habituellement : le péricyte, puis une deuxième couche est formée par les astrocytes, qui sont des cellules du tissu nerveux équivalentes aux macrophages dans le sang. Le neurone peut avoir par endroits des prolongements qui s'étendent jusqu'à l'endothélium. Cette barrière maintient l'environnement physico-chimique du cerveau dans des limites précises essentielles pour la vie. Elle fonctionne comme un filtre différentiel qui permet le passage sélectif de substances du sang vers le cerveau. Par exemple, l'oxygène, les acides aminés, et certains anesthésiques peuvent accéder aux cellules nerveuses, tandis que les protéines, les microorganismes et les antibiotiques sont exclus des tissus cérébraux par la BHE. Cette propriété est à double tranchant, parce que des médicaments efficaces dans certaines pathologies dans d'autres régions de l'organisme peuvent ne pas avoir accès au cerveau pour combattre l'infection. En revanche, une ouverture

involontaire de la BHE peut exposer le système nerveux central à des substances toxiques ou à des microorganismes pathogènes.

Il existe différents types de marqueurs de la perméabilité de la BHE : la fluorescéine (fluorure de sodium : NaF) et le bleu Evans (BE), fréquemment utilisés, se fixent fortement sur l'albumine plasmatique et ne passent pas une BHE intacte. De l'albumine radio-active, ou d'autres molécules radioactives de taille variable dérivées des sucres, comme les dextrans, ont été utilisées dans d'autres cas. Iwasaki a montré que le passage d'albumine pouvait être le témoin d'une toxicité.

Un marqueur fluorescent hydrosoluble comme le fluorure de sodium (NaF) est normalement vu au microscope uniquement dans les zones non protégées par cette barrière comme la glande pinéale et certaines zones périventriculaires.

La BHE peut être ouverte par injection de solutions à très forte concentration (hypertoniques) comme de l'urée 10 M (10 moles par litre, soit 1600 g par litre). L'injection peut se faire dans l'artère carotide primitive. Ce produit est utilisé pour réaliser un contrôle positif d'ouverture de la BHE. La cinétique de cette perméabilité n'a pas été déterminée.

Revue des modifications de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique (BHE) induites par les microondes. J. Merritt et P. Mason, USAF Brooks

Marquage par le bleu Evans

Polyaschuk a observé une augmentation de la BHE chez des lapins exposés pendant 20 minutes à 2307 MHz avec une puissance de 30 W. Il serait nécessaire de préciser l'amplitude de cette modification ainsi que la puissance réellement absorbée. Suivant les conditions d'exposition en guide ou en champ libre, on peut évaluer à 50% la puissance absorbée, pour un poids moyen des lapins de 5 kg, soit un DAS de 3 W/kg. Ces notions sont à préciser.

Frey a observé une augmentation de la perméabilité de la BHE après une exposition pendant 30 minutes à une densité surfacique de puissance (DSP) de 2,4 mW/cm² en émission continue (CW) ou en émission par impulsions (PW) à une DSP de 2,1 mW/cm² ; la durée des impulsions était de 1 ms, la fréquence de répétition de 1000 impulsions par seconde (pps). Le DAS dans ces conditions peut être évalué à 5 W/kg¹. La fluorescence était notée de 0 à 4 sur une échelle visuelle. Une telle échelle est subjective, et il est nécessaire que ce type d'étude soit réalisé en aveugle ; il n'a pas été indiqué si c'était le cas.

Marquage par la fluorescéine

La concentration de fluorescéine utilisée est de 5 à 30 ng/g de poids de l'animal ; une injection d'urée dans les conditions indiquées précédemment (10M), induit une perméabilité de la BHE (contrôle positif) ; une exposition à une DSP de 20 mW/cm² pendant 3 h ne provoque pas d'augmentation de la BHE ; une exposition à une DSP de 65 mW/cm² pendant 30 ou 90 min (produisant une élévation de température à 42°C) produit une perméabilité 3 fois inférieure à celle de l'urée.

Autres techniques

Sutton et Carroll ont injecté du sucrose marqué au carbone radioactif ¹⁴C. Une exposition à une DSP de 0,08, 0,3 ou 1,6 mW/cm² à raison de 6 à 10 impulsions par seconde n'a pas produit d'effet sur la barrière hémato-encéphalique. Albert a montré qu'une élévation de température de 0,4°C par des RF produisait une augmentation nette de la BHE, réversible après une heure. En utilisant d'autres techniques, Oscar a conclu que les effets observés étaient dus à une augmentation du flux vasculaire cérébral et non pas à une perméabilisation de la BHE.

¹ 2,4 mW/cm² = 24 W/m² ; DSP = E²/400 ; E² = 400 x 24 ; Eint² = E²/2 ≈ 5000 ; DAS = σ Eint²/ρ = (1 x 5000)/1000 = 5 W/kg

Les travaux plus récents de Salford et Persson ont montré une extravasation d'albumine radioactive à faible puissance, suggérant la mise en jeu d'effets non thermiques.

Effet biologique et impact thérapeutique des modifications de la BHE induites par les micro-ondes chez le rat. J. Lin

L'hyperthermie micro-onde peut altérer expérimentalement la perméabilité de la BHE chez des animaux. Il existe une relation entre le débit d'absorption spécifique et l'élévation de température. Lorsque le DAS est suffisant pour élever la température du cerveau du rat jusqu'à 42°C, la perméabilité de la BHE augmente pour des substances normalement exclues. Lin a montré cela chez le rat par l'utilisation systématique de plusieurs indicateurs, colorés comme le bleu Evans (BE), fluorescents comme la fluorescéine de sodium (NaF), radioactifs comme le C¹⁴-sucrose, l'inuline tritiée H³inuline, le mannitol ou la ⁸⁶rhubidine (sel de ⁸⁶rhubidium : ⁸⁶Rb).

En appliquant des densités de puissance entre 5 et 750 W/m² (jusqu'à 75 mW/cm²), Lin n'a pas observé d'effet tant que le DAS pic local restait inférieur à 80 W/kg. Les fréquences utilisées étaient entre 900 MHz et 2,8 GHz. Dans un étude où le rayonnement était émis à l'aide d'un applicateur de contact, un effet a été obtenu à 915 MHz et 2,45 GHz, avec une DSP de 24 à 100 W/m², produisant des DAS supérieurs à 80 W/kg : 165 et 240 W/kg. Cet applicateur de contact a été placé pendant 20 minutes en regard du cerveau gauche et induisait à 2,45 GHz un DAS de 55 W/kg par W émis. Malgré une température corporelle de 41°C, il n'a pas été observé de différence de perméabilité au NaF ou au BE en dessous de 80W/kg (études de 1980 et 1986). En 1982 et 1984: à 43°C, à 100-240 W/kg pulsé, à l'aide de BE ou de ⁸⁶Rb, un effet a été observé, fonction de la température. Après une exposition de 10 min à 240 W/kg, immédiatement après injection d'un indicateur (au temps 0), un effet net est observé, toujours visible après 5 min. ; cet effet disparaît complètement 10 et 30 minutes après la fin de l'exposition. Ceci montre que la perméabilité de la BHE est réversible.

Une injection intra-veineuse d'éthanol avant exposition aux micro-ondes refroidit le cerveau, évitant ainsi une augmentation excessive de la température, et atténue les modifications observées de perméabilité de la BHE. Ceci indique le rôle prédominant de la température dans cette perméabilisation de la BHE.

Les effets obtenus évoquent la possibilité d'utiliser l'hyperthermie sélective micro-onde pour faciliter la chimiothérapie des tumeurs cérébrales. De nombreuses substances anticancéreuses non liposolubles sont exclues par la BHE normale. Le méthotrexate (MTX) est un anticancéreux largement prescrit dans la chimiothérapie de nombreux cancers. Cependant, sa perméabilité est parmi les plus faibles des médicaments utilisés en clinique, bien qu'une étude récente suggère que la barrière hémato-tumorale (sang-tumeur) soit plus perméable que la BHE au MTX. Après anesthésie par injection intra-péritonéale de pentobarbital sodique, du MTX a été injecté à une concentration de 2 µg/g 15 min après une exposition à des microondes. La fréquence était de 2,45 GHz, l'émission était continue (CW), le DAS était de 165 W/kg et la température cérébrale supérieure à 42°C. Après sacrifice, la concentration en MTX dans différentes structures cérébrales a été mesurée par HPLC. Une augmentation significative a été montrée chez les animaux exposés, réversible dans les 45 minutes qui suivent la fin de l'exposition. Ceci montre que la perméabilité de la BHE induite par l'hyperthermie microonde facilite significativement l'accès au cerveau de médicaments anticancéreux tels que le MTX qui en sont normalement exclus.

La perméabilité de la BHE chez le rat est altérée par l'exposition aux champs magnétiques associés à l'IRM. F. Prato

L'IRM produit un champ magnétique statique, un champ radiofréquence modulé à très basse fréquence, et des gradients de champs basse fréquence.

La perméabilité de la BHE est altérée chez le rat après exposition à des champs électromagnétiques associés à l'IRM. Une étude précédente avait montré en microscopie électronique une augmentation dans le cortex frontal d'une protéine injectée dans la circulation sanguine (la peroxydase du radis noir ou raifort). Il semblait que cette augmentation était due à un transport accru de la protéine par l'intermédiaire des vésicules qui la stockent dans le cytoplasme. Les tentatives de réplification quantitative de ces résultats qualitatifs sont restées ambiguës, indiquant que l'effet, si confirmé, était faible, et la nécessité d'utiliser une méthode d'analyse plus sensible.

Des rats ont été exposés à deux séquences consécutives d'un examen IRM classique de 23,2 min après anesthésie par injection intra-péritonéale de Somnitol 50 mg/kg et canulation de la veine cave inférieure. Entre les deux séquences, ils ont reçu une injection par la canule d'une molécule marquée au ^{153}Gd Gadolinium : le $^{153}\text{Gd-DTPA}$, molécule largement utilisée en imagerie IRM pour montrer les ruptures importantes de la BHE qui accompagnent les traumatismes, les accidents vasculaires cérébraux et les tumeurs. Le rapport de la radioactivité du cerveau sur celle du sang est un bon indicateur de la perméabilité de la BHE. Ce rapport, appelé coefficient de partition sang-cerveau, a été mesuré une heure après la seconde séquence et était augmenté de 22% chez les animaux exposés par rapport aux contrôles.

Relation entre l'exposition microonde d'un téléphone mobile et la BHE chez le rat Sprague-Dawley (SD) – H. Nagawa

Ce travail a étudié l'influence d'une exposition microonde sur la perméabilité de la BHE, sur la morphologie des cellules nerveuses et sur le poids corporel des animaux exposés. Dans la littérature, 5 études ne montrent pas d'augmentation de la perméabilité de la BHE, 12 en montrent une mais liée à une augmentation de la température. Seules deux études font exception : celle de Salford en 1994 (augmentation de 8%), et celle de Fritze en 1997 (20%).

Le système d'exposition et la dosimétrie de cette étude ont été décrits précédemment (Watanabe, 1999). Le système consiste en une petite chambre anéchoïque et un carrousel sur lequel les rats sont maintenus dans des tubes en disposition radiale. Des rats SD âgés de plus de 30 semaines ont été séparés en 3 groupes de 8 animaux : exposés, témoins (exposition fictive) et contrôles (maintenus dans leur cage habituelle). Des expositions ont été réalisées 1 h/j pendant 2 ou 4 semaines à des DAS de 0,99 W/kg et 2 W/kg, ou une fois 4 h à 7,4 W/kg. La température corporelle a été mesurée par thermofluorescence Luxtron : elle restait à 35-36°C à 7,4 W/kg ; par comparaison ou en contrôle positif, elle atteignait 42°C à 25 W/kg.

La perméabilité de la BHE a ensuite été évaluée par marquage coloré au BE ou par immunohistochimie de la sérulalbumine. Une cryolésion² a été effectuée comme contrôle positif.

A 0,99 W/kg, 2 W/kg et 7,4 W/kg, il n'a pas été observé d'extravasation ou de modifications morphologiques, en particulier dans le cervelet, que ce soit dans la couche externe, moléculaire, interne granulaire, ou intermédiaire des cellules de Purkinje. De plus, à 2 W/kg pendant 2 ou 4 semaines, il n'a pas été observé de modification du poids corporel.

Conclusion : l'exposition répétée à des DAS similaires ou mêmes supérieurs à celui existant lors de l'utilisation d'un téléphone mobile ne produit pas d'altération de la BHE ni du poids corporel.

² Lésion par froid intense (gelure), souvent produite par application transcrânienne d'une canule remplie d'azote liquide

Effets histopathologiques d'une exposition microonde aiguë ou chronique sur le cerveau du rat. Eberhardt (Salford-Persson)

Une exposition continue ou par impulsions à 915 et 1800 MHz entraîne un passage significativement augmenté d'albumine à travers la BHE chez des rats exposés. De façon normale, un faible passage d'albumine existe dans certaines zones définies du cerveau.

Depuis le début des travaux, 630 rats Fischer 344 ont été exposés et 372 ont été utilisés comme contrôles. Les animaux n'étaient pas anesthésiés pour éviter que le stress que cela entraîne ne perturbe les résultats.

Le passage était quelquefois supérieur à 1 mW/kg par rapport à des DAS plus élevés. Les effets les plus importants étaient parfois observés dans des structures cérébrales profondes plutôt que dans les couches superficielles.

L'exposition d'animaux aux champs de l'IRM provoque une extravasation de BE.

Les résultats étaient similaires à ceux d'une exposition avec des vrais téléphones : des animaux ont été exposés à des DAS de $4 \cdot 10^{-4}$ à 8,3 W/kg, avec une fréquence de répétition de 2 à 217 Hz, et des durées d'impulsions entre 0,57 et 6 ms. Dans une étude récente, une exposition chronique a été réalisée pendant 6 à 8 semaines 2 h par jour à des DAS de 2, 0,2 ou 0,02 W/kg.

L'augmentation d'albumine était de 88% à 2 W/kg ($p < 0,01$), de 100% à 0,2 W/kg ($p < 0,005$), de 43% à 0,02 W/kg (N.S. : $p = 0,07$) et de 13% seulement chez les témoins (exposition fictive) par rapport aux contrôles-cage. Dans le paragraphe suivant, les auteurs indiquent que l'augmentation du passage chez les animaux exposés à 0,02 W/kg était 2 fois plus important que celui chez les contrôles, tandis qu'il n'y avait pas d'augmentation à 0,2 W/kg, ce qui n'est pas cohérent avec les chiffres donnés précédemment.

Des neurones « sombres » ont été observés au microscope dans l'hippocampe, correspondant vraisemblablement à des cellules mortes ; leur nombre augmente avec la puissance absorbée, de 2,5 à 250 mW/kg. Si ces cellules sont mortes, il n'y a pas de récupération possible avec le temps.

Si l'albumine traverse la BHE lors de l'utilisation d'un téléphone mobile, il peut également exister un passage de molécules toxiques. Le passage de molécules toxiques pourrait être à l'origine de maladies auto-immunes (sclérose en plaques ou SEP), pourrait provoquer la disparition de connexions dendritiques (maladie d'Alzheimer) ou perturber les processus de neurotransmission synaptiques (maladie de Charcot ou sclérose latérale amyotrophique SLA). Les auteurs indiquent que si la perméabilité de la BHE à un DAS de 1 mW/kg était confirmée, des effets pourraient se produire au voisinage d'utilisateurs de téléphones mobiles chez des non-utilisateurs passifs !

Revue des études en cours des laboratoires de l'US Air Force sur la BHE. Mason P.

Salford et Persson ont montré un passage d'albumine et de BE à des DAS aussi faibles que 1 mW/kg. De tels DAS sont de l'ordre de ceux auxquels peuvent être quotidiennement exposés des personnels militaires.

L'expérience 1 vise à déterminer les effets d'une exposition de faible puissance sur la BHE. Les rats ont été exposés par groupes de 36 animaux pendant 30 minutes à 915 MHz dans une cellule TEM, soit en émission continue (CW) (2 mW/kg à 20 W/kg), soit par une émission modulée par impulsions à 217 Hz (fréquence et durée des impulsions identiques à celle des émissions GSM: 576 μ s, taux de remplissage = 1/8 ; DAS de 2,5 mW/kg pour une puissance crête de 0,02 W/kg, à 2,48 W/kg pour une puissance crête de 20 W/kg), ou modulée à 16 Hz (même durée des impulsions de 576 μ s, ce qui conduit à un taux de remplissage inférieur à 1% ; DAS de 1,8 mW/kg pour une puissance crête de 0,2 W/kg, à 0,18 W/kg pour une

puissance crête de 20 W/kg). Les résultats à 16 Hz à un DAS de 0,18 W/kg sont à comparer à ceux en émission continue à 0,2 W/kg CW; de même à 217Hz, les résultats à 2,48 W/kg sont à comparer à ceux à 2 W/kg en émission CW.

Le passage de la BHE a été quantifié par immunofluorescence ou marquage de l'albumine par injection de colorants (BE) ou de marqueurs fluorescents (NaF). Alternativement, une coupe sur deux a été analysée par microscopie électronique. Pour vérifier l'influence de l'exposition sur la température, des sondes Vitek ont été implantées par cathétérisme dans le cerveau.

Les résultats de cette étude ne sont pas disponibles.

L'expérience 2 étudie la possibilité que l'exposition au stress et/ou aux microondes altère la perméabilité de la BHE à la pyridostigmine (PYR). Friedman et al. (1996) ont montré qu'un stress physique comme la nage forcée chez la souris entraînait un passage de PYR à travers la BHE, qui y est normalement imperméable. Si les militaires traités préventivement par la PYR sont soumis à un stress, ce stress pourrait permettre le passage de ce médicament anticholinestérasique dans le cerveau. Ils suggéraient que cette pénétration de PYR pouvait être la cause du syndrome de la Guerre du Golfe. Ces études sont menées en collaboration avec Salford et Persson.

Le stress est produit par une agitation vive des animaux dans un récipient. Une injection préalable de pyridostigmine produit une inhibition de 40% de la concentration en acétylcholinestérase (AChE) dans le sérum, mais pas dans le cerveau. Un contrôle positif a été réalisé par injection directe de 200 mU/ml d'AChE dans un hémisphère, en comparaison à l'injection d'un hypertonique.

Il n'a pas été observé de différence provoquée par le stress ou/et les RF.

Annexe 4d

Synthèse des communications du 5^{ème} congrès de l'European Bioelectromagnetics Association EBEA (Helsinki, Finlande, septembre 2001)

B. Veyret et I. Lagroye, PIOM - Bordeaux

L'association européenne de bioélectromagnétisme EBEA est une société savante qui étudie les effets biologiques et médicaux des champs électromagnétiques et les mécanismes d'interaction de ces effets. Cette société à but non lucratif est basée en Europe ; son bureau est composé de physiciens et d'ingénieurs, de biologistes et de médecins, et son activité est gérée par des scientifiques bénévoles. Cette société comprend 170 membres, dont un tiers des pays de l'est ont la facilité d'une inscription gratuite pour permettre leur participation et des échanges avec ces pays. Elle tient un congrès bisannuel de préférence décalé par rapport au congrès de la BEMS. L'adresse de son site web est : www.ebea.org. Elle édite un journal en collaboration avec la BEMS : le journal Bioelectromagnetics (BEMS journal).

1- Introduction

Le 5^{ème} congrès de L'EBEA s'est tenu à Helsinki du 6 au 8 septembre 2001. Avec 300 personnes présentes, il s'agissait de la participation la plus fournie des congrès de l'EBEA. Ceci était dû à la bonne organisation du congrès, mais surtout au fait que la grande majorité des recherches se déroulent actuellement en Europe.

Les délégations japonaise et américaine étaient particulièrement importantes.

Le thème d'appel portait bien évidemment sur les téléphones mobiles. Ceci a entraîné la présence de nombreux industriels, opérateurs et constructeurs.

Des invités « de marque » étaient présents en les personnes de Michael Repacholi de l'OMS¹, d'Alastair McKinlay² président de l'ICNIRP³, de Shoogo Ueno du Japon⁴ et d'Elisabeth Cardis du CIRC⁵.

Les différents thèmes en rapport avec la téléphonie mobile sont décrits ci-dessous (les références entre parenthèses correspondent au numéro de page dans le recueil de résumés). Les résumés de communications portant sur la téléphonie mobiles sont fournis à la suite de cette annexe.

2- Dosimétrie

De nombreuses communications portaient sur la dosimétrie des téléphones mobiles, des stations de base et des systèmes d'exposition.

Téléphones mobiles

L'efficacité des systèmes de protection pour les téléphones mobiles a été étudiée par le groupe de Lovisolo (p 320) : 15 dispositifs ont été testés et aucun n'a été trouvé efficace. La plupart sont inopérants et les autres détériorent la qualité de l'émission.

¹ responsable du programme EMF et des rayonnement ionisants

² responsable des rayonnements non-ionisants au NRPB, UK

³ International Commission on Non Ionizing Radiation Protection

⁴ responsable des programmes de recherche japonais et président de la commission K de l'URSI

⁵ Centre International de Recherche sur le Cancer, OMS, Lyon. Responsable du programme épidémiologique Interphone

Stations de base

Deux présentations de qualité ont été faites par Pontalti (Trento, Italie, p 127) et Casavola (Supélec, prix EBEA étudiant, p 133) sur les mesures et calculs de champs autour des stations de base.

Systèmes d'exposition

Le groupe de Kuster utilise la méthode de congélation/découpage en tranches pour obtenir des modèles de rat avec une résolution de 0,05 mm (p 57). En collaboration avec le groupe de Neubauer à Vienne, cette méthode sera utilisée par France Télécom R&D et l'ENST pour obtenir des modèles nécessaires à l'interprétation des résultats de COMOBIO : des coupes anatomiques fines de rats seront réalisées et les images de ces coupes seront utilisées pour affiner la modélisation numérique permettant le calcul du DAS dans chaque tissu, organe, ou partie d'un organe.

S. Chaillou de France Télécom R&D a présenté le système antenne-boucle (p 59) et T. Toivo du STUK le système de cavité utilisé en Finlande pour exposer des cultures (p 62).

Pakhomov, chercheur russe travaillant à Brooks (p 15) a présenté une méthode astucieuse d'exposition de cultures de cellules à des ondes centimétriques : des cellules sont placées en culture dans des gels d'agarose sur une profondeur de 2,4 cm. Les ondes incidentes sont absorbées exponentiellement et la densité cellulaire est mesurée sur les 24 tranches en fonction de la profondeur. Cette méthode est applicable seulement pour des ondes centimétriques.

3- Modèles biologiques

3-1 Etudes liées au cancer

3-1.1 *In vitro*

Génotoxicité

Le groupe italien de d'Ambrosio à Naples a présenté la suite de ses travaux sur les effets des radiofréquences de 1740 MHz sur les lymphocytes de quatre donneurs sains (p 218). Une exposition préalable à un signal CW ou modulé GMSK ou GMSK plus TDMA (15 minutes, DAS moyen de 2 W/kg) ne modifie pas significativement le nombre d'aberrations chromosomiques induites dans des lymphocytes humains par une irradiation γ (4 Gy).

Dans ses travaux récents, ce groupe a utilisé un système d'exposition permettant une distribution plus homogène du DAS au niveau des cellules (dans un tube au lieu d'un flacon). De l'avis même des auteurs, les effets préalablement observés (induction significative de micro-noyaux dans des lymphocytes humains exposés pendant 15 minutes à un signal GMSK) pourraient être liés à l'existence de points chauds dans les boîtes de culture lors de l'utilisation de l'ancien dispositif d'exposition.

En Belgique, Maes et ses collègues ont étudié la présence d'aberrations chromosomiques, d'échange de chromatides sœurs (SCE en anglais) et de cassures de l'ADN (test des comètes : TC) dans les lymphocytes de personnes professionnellement exposées à des radiofréquences (p 298). Une synergie potentielle avec un agent chimique génotoxique (mitomycine C) était également recherchée *in vitro* pour les paramètres SCE et TC. Le groupe exposé était représenté par 49 personnes travaillant sur deux sites de stations de base, tandis que les sujets contrôles étaient représentés par un groupe témoin interne (sujets présents sur l'un des sites mais non exposés) et un groupe témoin externe (personnes extérieures aux sites). Aucune altération de l'ADN dans les cellules des sujets exposés n'a pu être mise en évidence, par rapport aux groupes témoins. De plus, aucune potentialisation des effets de l'agent génotoxique n'a été observée.

Dans leur tentative de répliquer un travail publié en 1994 rapportant une induction de micro-noyaux dans les cellules végétales de *Tradescantia* après exposition à des radiofréquences de 21 MHz⁶, Lehmann et ses collègues (p 207) démontrent le manque de fiabilité de ce test, probablement dû à la manipulation de ce modèle.

En résumé, l'absence d'effet génotoxique direct des signaux radiofréquences, en particulier de ceux utilisés en téléphonie mobile, semble se confirmer pour des DAS correspondant aux valeurs limites recommandées pour l'exposition locale du public.

Apoptose et expression protéique

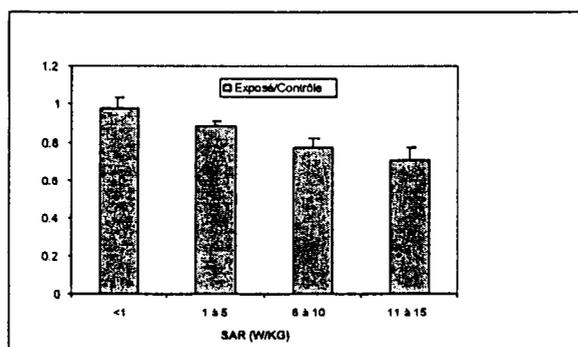
Dans la continuité du congrès de la BEMS 2001, l'intérêt de l'étude des effets des radiofréquences sur l'apoptose⁷ cellulaire et l'expression des protéines se confirme.

Apoptose : L'équipe finlandaise de Juutilainen (p 216) détaillait les travaux présentés à la BEMS 2001 montrant une potentialisation des effets d'une irradiation UV (diminution de la taille des colonies et l'induction de l'apoptose) dans une souche mutante de levure⁸ après exposition à un signal GSM-900 MHz à un DAS moyen sur l'échantillon de 0,6 W/kg pendant une heure. Un signal continu ne module pas l'effet des UV et les RF seules n'induisent pas d'apoptose.

En résumé, les radiofréquences des téléphones mobiles semblent susceptibles d'altérer essentiellement des systèmes biologiques modifiés, en synergie avec un autre facteur d'agression.

Ornithine Décarboxylase (ODC) : L'ODC est la première enzyme qui intervient dans la biosynthèse des polyamines. En 1997, l'équipe de Litovitz⁹ décrit une élévation de l'activité de l'ODC de fibroblastes murins L929 sous l'influence de radiofréquences (TDMA 835 MHz, modulé à 50 Hz, DAS de 2,5 W/kg). Cette étude doit être répliquée dans le programme national finlandais et le programme international Perform-B (Kuopio et Bordeaux). Lors du congrès, deux études réalisées dans des conditions différentes apportent des conclusions complémentaires.

Le groupe américain de la FDA (Desta, Owen et Cress) présente une réplification fidèle des expériences de Litovitz (excepté le contrôle thermique amélioré des cellules de Crawford). Aucun effet des radiofréquences (8 heures) sur l'activité de l'ODC n'est observé dans ces conditions pour des DAS de 1 W/Kg jusqu'à 15 W/Kg (cf. figure ci-dessous). Les auteurs soulignent l'importance cruciale du contrôle thermique des expositions. Ce poster n'est pas répertorié dans le fascicule.



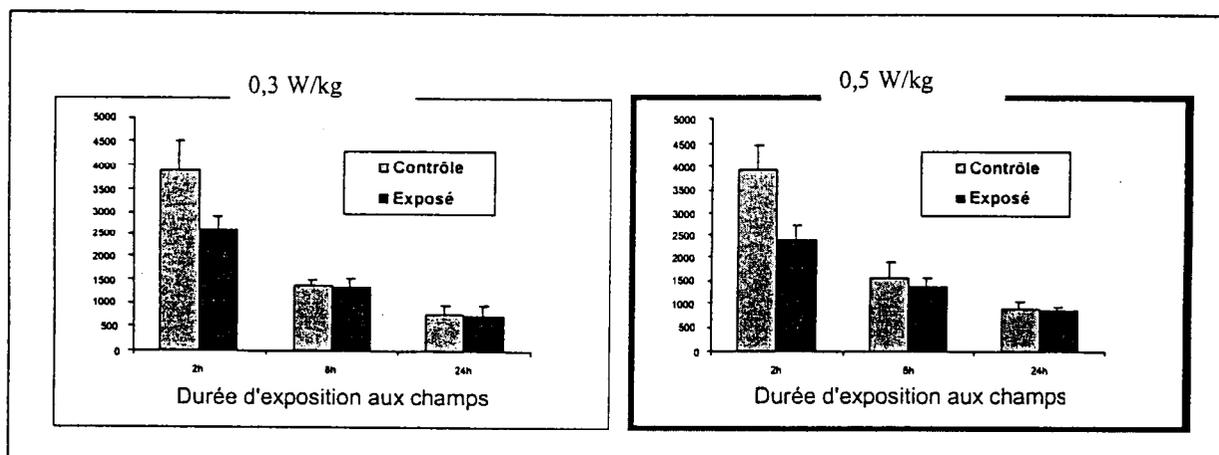
Le groupe finlandais de l'Université de Kuopio (Ruotsalainen, Alhonen, Juutilainen et Naarala) complète les résultats présentés à la BEMS en juin 2001 (DAS de 2,5 et 4 W/Kg), avec des DAS plus faibles de 0,3 et 0,5 W/kg. En utilisant une cavité thermostatée et des signaux GSM (900 MHz, CW ou modulés 217 Hz), aucun effet sur l'activité de l'ODC n'est rapporté après 8 heures d'exposition, alors

⁶ Haider *et al.* 1994, Mutation research

⁷ L'apoptose est un phénomène physiologique intervenant dans le maintien de l'intégrité cellulaire. Ce phénomène peut-être impliqué dans la pathologie cellulaire lorsqu'il est dérégulé.

⁸ Contrairement à la souche de levure « sauvage », cette souche mutante de levure entre en apoptose à 37°C

⁹ Penafiel *et al.*, Bioelectromagnetics, 1997, 18, 132-141.



qu'une réduction significative ($p < 0,05$) est observée à 2 heures sur un nombre limité (4 à 6) d'expériences (p 212, cf. figures ci-dessous).

*Protéines de choc thermique*¹⁰ (HSPs en anglais): Deux communications orales s'intéressaient à l'induction des protéines de choc thermique après exposition à des radiofréquences à des niveaux non-thermiques (session 1).

La première était présentée par D. Leszczynski, de Finlande, qui a rappelé ses résultats montrant l'augmentation de la phosphorylation¹¹ et de l'expression de la protéine HSP27 dans des cellules endothéliales d'origine humaine après une exposition d'une heure à un signal GSM-900 « basique¹² » à un DAS de 2 W/kg. La mise en jeu de la protéine MAPK38 dans la phosphorylation d'HSP27 est confirmée. Cependant, l'effet transitoire observé sur cette protéine n'est expérimentalement corrélé ni avec un phénomène apoptotique dans ces cellules, ni avec des modifications de leur cycle cellulaire. Ainsi, l'hypothèse qu'HSP27, connue pour son effet anti-apoptotique, serait activée en réponse au signal apoptotique potentiellement induit par des RF n'est pas vérifiée.

Les auteurs orientent à présent leurs travaux sur la voie de la signalisation cellulaire impliquant la PKC¹³, une protéine kinase qui est affectée par les radiofréquences dans les mêmes conditions d'exposition.

Une réplication du travail sur HSP27 est envisagée dans le cadre du projet européen REFLEX.

L'Australien P. French, auteur de la deuxième présentation relative aux protéines de choc thermique, a présenté des résultats montrant que des RF CW de 837 MHz ou pulsées de 2450 MHz à des DAS respectifs de 7 et 4 W/kg étaient capables d'induire différentes protéines dont HSP90 dans des mastocytes¹⁴ de rat. La suite de l'exposé s'attachait à démontrer une relation entre l'expression chronique des HSPs et la cancérisation des cellules. L'auteur concluait que l'augmentation des HSPs après exposition répétée aux radiofréquences des téléphones portables pouvait être un marqueur de l'effet cancérogène des signaux radiofréquences des téléphones mobiles. Notons cependant que les travaux présentés semblent n'avoir jamais porté sur les signaux des téléphones portables et utilisaient des DAS très largement supérieurs aux recommandations.

Néanmoins, à l'heure actuelle, l'étude des effets des radiofréquences sur l'expression des HSPs apparaît comme l'une des pistes sérieuses à explorer.

¹⁰ La phosphorylation/déphosphorylation des protéines module leur activation ou leur répression.

¹¹ Les protéines de choc thermique ou HSPs (pour heat-shock proteins) constituent une famille de protéines très conservée, induite par de nombreux stimuli (hyperthermie, stress, radiations ionisantes, etc.)

¹² modulation à 217 Hz

¹³ La PKC est la protéine kinase C, impliquée dans une voie majeure de signalisation cellulaire en réponse à une augmentation du calcium intracellulaire. Cette voie est notamment mise en jeu par le promoteur de tumeur TPA (ester de phorbol).

¹⁴ Les mastocytes sont des cellules du sang et des tissus conjonctifs qui jouent un rôle important dans les phénomènes allergiques notamment.

*NO Synthase inductible*¹⁵ (NOS2): Notre groupe à Bordeaux (p 220) a montré, dans le cadre du projet européen REFLEX, qu'une exposition de 48 heures à des RF de type GSM-900 diminuait de façon reproductible l'expression de la NOS2 dans des cellules de gliome de rat (lignée C6). L'amplitude de l'effet est de l'ordre de 40%, que les RF soient appliquées seules ou de façon concomitante à des cytokines¹⁶ utilisées comme témoins positifs pour l'induction de la NOS2. Encore préliminaires, ces résultats suggèrent un potentiel effet anti-inflammatoire de ces signaux.

3-1.2 In vivo

Cancers

Suite à des observations antérieures d'un groupe turc, décrivant une diminution du diamètre des tubes séminifères des testicules de rats exposés durant un mois à des téléphones portables (placés sous les cages) activés 3 fois pendant une minute (2 heures par jour), les auteurs poursuivent leur expérimentation en mesurant des paramètres biochimiques (p 231). Aucun effet n'est mesuré sur le profil lipidique, la concentration cellulaire du malondialdéhyde et l'activité du gène P53 (suppresseur de tumeur). La dosimétrie dans cette étude est toutefois aléatoire du fait du système d'exposition utilisé, à rapprocher de celui utilisé par Technolab.

Système immunitaire

L'équipe de C. Marino en Italie (p 260) a étudié *in vivo* chez la souris l'effet du signal GSM-900 sur différents paramètres immunologiques : comptage cellulaire, phénotypage¹⁷ des cellules de la rate, taux de prolifération cellulaire et production de cytokines après stimulation *ex vivo*. De plus, l'effet des radiofréquences GSM-900 sur la réponse immune de souris immunisées a été évalué. Les animaux sont exposés corps-entier 2 heures/jour pendant 7 à 14 jours consécutifs. Quatre groupes de 4 animaux sont étudiés : contrôles cage, sham, GSM-900 à 1 W/kg et 2 W/kg. Les résultats obtenus montrent que, quelles que soient les conditions d'exposition, l'intégrité du système immunitaire et de la réponse immunitaire des animaux est conservée.

Ces données sont donc en faveur de l'absence d'effet immunodépresseur et inflammatoire d'une exposition sub-aiguë à des radiofréquences des téléphones portables à des niveaux supérieurs ou égaux aux recommandations d'exposition corps-entier. Des expositions sub-chroniques sont en perspective dans ce groupe.

3-2 Système nerveux central

Barrière hémato-encéphalique (BBB en anglais)

La perméabilisation des vaisseaux sanguins aux protéines plasmatiques est associée aux processus migraineux. Elle semble susceptible d'être induit par les téléphones mobiles. Cette étude, réalisée dans le cadre du programme français COMOBIO¹⁸, porte sur les effets du GSM-900 à la fois au niveau de la dure mère et sur le cerveau chez le rat exposé aux antennes-boucle.

Une augmentation de l'extravasation est observée dans le cerveau de rats exposés pendant 2 heures (4 W/kg moyen dans le cerveau, soit 8 W/kg dans la dure-mère) par rapport à des animaux témoins. Cette extravasation accrue est encore plus prononcée chez des rats prédisposés par sympathectomie à cette affection. Des résultats de moindre amplitude sont décrits avec des DAS de 1 W/kg moyen dans le cerveau et aucun effet n'est observé à 0,25 W/kg. L'amplitude de cet effet est maximale en profondeur dans le cortex ce qui suggère un effet indirect des ondes qui reste à élucider.

¹⁵ La NOS (Nitric Oxide Synthase) est l'enzyme catalysant la synthèse du monoxyde d'azote NO. Il existe 3 isoformes de cette enzyme, dont la NOS2 qui est ubiquitaire et inductible.

¹⁶ Les cytokines (interleukines, lipopolysaccharides, etc) sont des médiateurs de l'inflammation.

¹⁷ Le phénotypage consiste en l'identification des divers sous-types cellulaires du système immunologique (par exemple dans la lignée lymphocytaire T, on trouve des T helper, T-cytotoxiques, T-suppresseurs et T-hsr).

¹⁸ Groupe de P. Aubineau, p 43

Audition

Le système auditif pourrait être une cible potentielle des RF. L'équipe de Marino¹⁹ à Rome (projet européen GUARD) étudie la sensibilité des cils de la cochlée interne en réponse à un stimulus auditif externe. Les rats sont ensuite exposés à un signal GSM-900 (DAS de 2 W/kg, 2 heures par jour pendant une et deux semaines). Les expérimentations ne montrent aucun effet significatif. Toutefois les auteurs modulent cette conclusion en raison d'une forte disparité des valeurs observées chez certains animaux et présentent un poster sensiblement différent du projet initial du fascicule. Les valeurs des fréquences d'excitation testées ont été réparties entre 2045 et 4052 Hz. Effectivement, les réponses sont différentes chez certains animaux témoins, et des fréquences plus élevées (6 kHz) et d'autres anesthésiques seront testés ainsi que des sondes mieux adaptées à l'oreille des rats.

Neurotransmetteurs

Les effets potentiels des RF sur les neurotransmetteurs sont mesurés par le groupe de R. de Seze (p38) par immuno-histochimie et l'affinité pour leur site de liaison par autoradiographie après marquage des récepteurs par des radio-ligands spécifiques. Différentes structures du cerveau du rat sont comparées après exposition (GSM-900) à l'aide d'antennes boucle avec toutefois des DAS relativement élevés (4 et 32 W/Kg). Des durées faibles d'expositions (2 heures) induisent une réduction du contenu en GABA du cervelet. Avec un DAS de 4 W/kg (15 min) une réduction de liaison des neurotransmetteurs à leurs récepteurs est observée avec cependant un mécanisme différent selon la localisation : baisse de l'affinité du récepteur (cortex, cervelet) ou réduction du nombre de sites de liaison (hippocampe). Ces différentes modifications ne semblent pas affecter le comportement des animaux. Toutefois après 72 heures d'exposition, la quantité de GFAP (marqueur des astrocytes) augmente, traduisant des atteintes neuronales quand des DAS très élevés sont utilisés.

Cerveau

Quatre études réalisées au niveau de différentes fonctions ou structures cellulaires du cerveau ne montrent pas d'effet des radiofréquences pour des valeurs de DAS modérées :

1. La production de mélatonine dans la glande pinéale, estimée par mesure de l'activité de la N-acétyltransférase (enzyme limitante de sa synthèse), chez des rats exposés (2 h/j, 14 jours) dans une cellule GTEM à 900 MHz ($100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) ou 1800 MHz ($20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) n'est pas modifiée. (Groupe de Somosy, p 229)
2. Ce même groupe hongrois, avec des conditions expérimentales identiques, mesure, au niveau du cerveau, l'ARN de transfert et les aminoacyl-tRNA synthétases, qui catalysent les premières étapes de la synthèse protéique. Aucune différence significative n'est observée, bien qu'une légère augmentation soit soulignée par les auteurs à 1800 MHz. (Groupe G. Kubinyi, p 249)
3. L'ultra-structure (mitochondries, réticulum endoplasmique rugueux, appareil de Golgi et membrane nucléaire) de neurones des noyaux caudés du striatum n'est pas modifiée chez des rats exposés 30 minutes à des micro-ondes de type radar, pulsées à 10 Hz, de 1,25 GHz de porteuse, pour des DAS de 0,6 W/kg. Cependant, à 6 W/kg la taille du réticulum et de la membrane nucléaire doublent. Ces effets observés à 6 W/kg sont toutefois associés à un stress thermique (température rectale de 40°C). (Groupe de Seaman à Brooks, p 240).
4. L'apprentissage spatial chez le rat est étudié par deux tâches spécifiques, l'une correspondant à une tâche d'élimination dans un labyrinthe à bras radial, l'autre à un repérage spatial dans un espace ouvert. L'exposition de la tête des animaux à une antenne boucle (GSM-900, DAS de 1 ou 3,5 W/kg), pendant 45 minutes, ne modifie pas les capacités d'apprentissage des animaux. Ce résultat ne confirme pas des observations antérieures réalisées par Lai à d'autres fréquences avec

¹⁹ p 256

des expositions corps-entier. (D. Dubreuil, p 251, qui a obtenu le prix du meilleur poster au congrès de l'EBEA).

3-3 Etudes humaines et épidémiologiques

Etudes humaines

Le nombre des études humaines est en nette progression, mais les résultats sur les effets des RF restent partagés.

Certaines études, associées à la description de facteurs subjectifs (impression de chaleur, de maux de tête, etc) des sujets, ne mettent pas en évidence de corrélation entre l'exposition au téléphone (GSM-900 ou 1800 et NMT-900) et les symptômes décrits (groupe de Hietanen, p 304). De même, celles qui sont associées aux performances intellectuelles (précision et réactivité à un stimulus visuel) restent négatives quant à l'influence des téléphones portables (Type S-10 Siemens), bien que les sujets exposés sur le côté gauche, présentent des modifications au niveau des tracés des potentiels lents cérébraux (groupe de Freude, p 302).

D'autres études sont plus alertantes, en particulier celles qui utilisent des tests psychologiques complexes faisant appel à l'attention et à la mémoire récente, où les erreurs sont plus fréquentes chez les exposés (1 W généré à 450 MHz, modulé à 7 Hz), alors que les tests simples sont effectués correctement sous exposition (groupe de H. Hinrikus, p 97).

Différents groupes se sont intéressés à de possibles perturbations du système cardiovasculaire par des signaux GSM, en vue de répliquer les résultats de Braune suggérant une augmentation de la pression sanguine chez les sujets exposés au GSM-900.

L'institut finlandais de santé professionnelle (K. Tahvanainen p102) présentait les résultats préliminaires (11 sujets sur les 60 prévus) de l'étude de la fonction cardiovasculaire après une exposition de 35 minutes à un signal GSM-900 ou GSM-1800. Aucun des paramètres étudiés (pression sanguine systolique, pression sanguine diastolique et rythme cardiaque) n'était altéré par les radiofréquences. Il faut néanmoins attendre les résultats finaux pour dresser des conclusions définitives.

Une étude sur le rythme cardiaque pendant les différentes phases du sommeil, chez des sujets exposés (GSM-900) une fois entre 23 h et 7 h, ne montre aucune modification des paramètres de l'électrocardiogramme. Cependant les auteurs soulignent que l'étude est réalisée chez des volontaires jeunes et sains (groupe de Mann, p 99).

En revanche, le groupe de S. Szimigielski en Pologne a montré une corrélation entre l'exposition professionnelle à des radiofréquences de 10 à 50 MHz (38 personnels radio comparés à 38 sujets non exposés) et des perturbations du rythme biologique diurne de la pression sanguine et de la fréquence cardiaque (p 104). Ces résultats sont similaires à ceux déjà obtenus par le même groupe chez des sujets exposés professionnellement à des radiofréquences de 0,7 à 1,5 MHz²⁰.

Les auteurs suggèrent que, dans le cadre professionnel, des expositions prolongées à des radiofréquences de 0,7 à 50 MHz peuvent entraîner des modifications des biorythmes cardiaques, sans qu'aucune conséquence clinique ne soit connue à l'heure actuelle.

Etudes épidémiologiques

Le groupe finlandais d'Auvinen (p 93) a réalisé une étude de faisabilité épidémiologique « cas-témoin » pour déterminer un éventuel lien causal entre exposition aux téléphones mobiles et tumeurs cérébrales. La population étudiée compte 398 cas de tumeurs du cerveau diagnostiqués en 1996 et 5 contrôles par cas (même âge, même sexe). Deux types de tumeurs (méningiome et gliome) ont été recensés et les données histologiques considérées. L'étude distingue les utilisateurs de téléphones portables analogiques NMT (exposition de 2 à 3 ans) et GSM (exposition inférieure à un an). Les

²⁰ Szimigielski S. et al., 1998, Blood Pressure Monitoring, 3, 323-330.

résultats de cette étude révèlent un risque plus élevé de gliome avec un risque relatif de 2,1 (intervalle de confiance 1,3-3,4) uniquement chez les utilisateurs de NMT, pour lesquels l'exposition était la plus longue.

Les auteurs estiment que l'évaluation de l'exposition aux radiofréquences n'est pas satisfaisante et affirment de pas pouvoir tirer de conclusions définitives.

Il est évident que cette étude basée sur des cas diagnostiqués en 1996 bénéficie d'un faible recul et que la question reste posée pour des expositions de durée supérieure. Ce type de travail apporte malheureusement très peu d'informations et souligne, si besoin était, l'intérêt d'une étude internationale rigoureuse comme le projet européen Interphone.

La méthodologie utilisée, dans le cadre du projet Interphone, pour l'évaluation de l'exposition aux radiofréquences des téléphones portables, était présentée par P. Vecchia. Elle comporte 6 points :

Les points 1 et 2 s'attachent à la caractérisation des téléphones utilisés, en termes de dosimétrie (dosimétrie numérique bénéficiant de mesures expérimentales).

Les points 3 et 4 concernant la caractérisation de l'exposition (profils d'utilisation) et le développement d'index d'exposition, utilisant des « software-modified phones » ou SMPs. Ces SMPs sont des téléphones disponibles dans le commerce qui ont été dotés de mémoire supplémentaire et d'un logiciel permettant de collecter des informations sur la durée et la fréquence des communications, ainsi que sur la puissance émise réelle. L'étude durera un mois et fait appel à des volontaires.

Enfin, les points 5 et 6 visent à la validation des points précédents (caractérisation du profil d'utilisation des téléphones) par un questionnaire destiné aux utilisateurs de mobiles. La comparaison entre l'estimation donnée par les SMPs et par l'analyse des questionnaires permettra la définition d'une « erreur ». Cette erreur permettra de pallier l'impossibilité de collaboration avec certains opérateurs.

A noter, l'ouverture par un groupe de chercheurs belges d'un site Internet (www.ulg.ac.be/bbemg), qui répond aux questions du public sur les effets sanitaires potentiels de l'exposition aux champs électromagnétiques, en particulier 50 Hz (groupe P. Duquesne, p273).

4- Analyse, Perception et gestion du risque

Les questions posées par Hyvönen²¹ dans son exposé (p 34) sur la perception du risque méritent d'être citées. Il s'agit de questions qu'une personne exposée se pose plus ou moins consciemment. L'expérience a été accumulée lors des campagnes d'information sur les ELF (Extremely Low Frequencies : 50/60 Hz) par les producteurs d'électricité européens :

- Je prends un risque ou on me l'impose ?
- Y aura-t-il des conséquences directes ou à long terme sur ma santé?
- Puis-je faire quelque chose pour diminuer l'exposition ?
- Quels sont les bénéfices pour moi et pour les autres ?

Lors de son exposé en séance plénière (p 1), M. Repacholi a insisté à juste titre sur l'importance de l'information dans la perception du risque. Pour permettre aux responsables de mieux comprendre les mécanismes à la base de cette perception et ainsi de mieux informer, l'OMS va publier un manuel (handbook) sur ce thème avant la fin de l'année 2001 et une monographie durant l'année 2002.

Dans la même logique, l'OMS va entreprendre une action de formation sur RF et santé sur son site Internet.

M. Repacholi a rappelé la position de l'OMS sur l'application du principe de précaution en ce qui concerne les EMF : le principe de précaution ne s'applique que pour tenir compte des craintes du

²¹ EURELECTRIC. Document sur la communication du risque : www.eurelectric.org/Docs/2000-440-0011-1.pdf

public. Il s'agit donc de mesures volontaires incluant la recherche, la diminution du niveau d'exposition moyen, une information du public et une concertation, en particulier pour l'installation des stations de base. Cette recommandation de l'OMS est en plein accord avec celle du groupe Zmirou, sauf en ce qui concerne les téléphones mobiles pour lesquels, selon le groupe Zmirou, l'incertitude scientifique a pour conséquence une application plus stricte du principe de précaution.

Le président de l'ICNIRP, A. McKinlay a retracé l'historique de cette commission (p 2) qui joue un rôle important dans la définition des limites d'exposition et il a annoncé que le document qui décrit la stratégie de l'ICNIRP était maintenant publié (Annexe 5). Il s'agit d'un document important pour clarifier le débat au vu des enjeux et des critiques formulées contre l'ICNIRP.

D. Black, de Nouvelle Zélande (p24) a heureusement résumé les débats qui existent autour de l'établissement des limites d'exposition : il s'agit d'abord de déterminer les effets biologiques bien établis et leur seuil d'apparition puis de choisir un facteur de sécurité (safety margin)²². Black distingue différentes populations suivant leur sensibilité : normaux, sensibles (compromised) et hypersensibles. Sachant que la démonstration de l'existence de personnes hypersensibles reste à démontrer (cf. supra), il faut tenir compte des personnes sensibles (enfants, malades, personnes âgées), ce qui est déjà fait dans le cas des recommandations ICNIRP et IEEE.

5- Conclusion

Le succès évident de ce 5^{ème} congrès montre clairement la santé de l'EBEA mais surtout le déplacement des recherches des USA vers l'Europe.

La qualité scientifique des communications était inégale :

- Une trentaine de chercheurs invités, issus des pays de l'Europe de l'Est, n'ont pas les moyens financiers et techniques de réaliser des expériences de bonne qualité.
- La société Technolab qui vend des « dispositifs de protection » pour téléphones mobiles était sur-représentée (p 169, 265, 299), malgré les filtres placés au niveau du comité de sélection...
- Le programme COMOBIO était bien représenté et les résultats correspondant ont été appréciés (par exemple D. Dubreuil et P. Aubineau).
- La délégation japonaise a présenté des travaux de qualité.

En conclusion, aucun résultat exceptionnel concernant la téléphonie mobile (en dehors de COMOBIO), n'a été rapporté à ce congrès. Le prochain congrès de l'EBEA aura lieu à Budapest en novembre 2003.

²² L'ICNIRP considère ces facteurs comme marge « d'incertitude scientifique » et non de « sécurité ».

ANNEXE 5
PRINCIPES D'ETABLISSEMENT DES NORMES PAR L'ICNIRP

ICNIRP Statement

**GENERAL APPROACH TO PROTECTION AGAINST
NON-IONIZING RADIATION**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

GENERAL APPROACH TO PROTECTION AGAINST NON-IONIZING RADIATION

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

INTRODUCTION

This document explains the approach that ICNIRP uses in providing advice on protection against non-ionizing radiation (NIR) exposure to serve both as a guide for the understanding of ICNIRP's documents and for its future work. The activities of ICNIRP are delineated, and the relationships with other advisory and legislative bodies are described. Furthermore, ICNIRP's current general approach to the assessment of health risks as a basis for the development of guidelines on limiting exposure is explained.

Issues dealt with by ICNIRP relate to optical radiation (ultraviolet, visible and infrared) including lasers and electromagnetic fields (microwaves, other radiofrequency fields and fields of lower frequencies down to and including static electric and magnetic fields). Ultrasound and infrasound exposures may also be considered.

ICNIRP'S ROLE IN NON-IONIZING RADIATION PROTECTION

ICNIRP is an independent group of experts established to evaluate the state of knowledge about the effects of NIR on human health and well being, and, where appropriate, to provide scientifically based advice on non-ionizing radiation protection including the provision of guidelines on limiting exposure. For other approaches to protection against suspected harmful effects of NIR, the evaluation of literature by ICNIRP may serve as a

valuable input. ICNIRP is the successor of the International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC) of the International Radiation Protection Association (IRPA) since 1992, and still retains a close association with the latter.

ICNIRP, as an international scientific advisory body, does not address social, economic, or political issues. Membership of ICNIRP is limited in time and also to experts who are not affiliated with commercial or industrial enterprises. Thus, ICNIRP is free of vested commercial interest.

ICNIRP is the formally recognized non-governmental organization in NIR protection for the World Health Organization (WHO), the International Labour Organization (ILO), and the European Union (EU). It maintains a close liaison and working relationship with other scientific and technical bodies. These include the International Electrotechnical Commission (IEC), the European Committee on Electrotechnical Standardisation (CENELEC), the European COST (Cooperation in the Field of Science and Technology) Actions in this field, the International Commission on Illumination (CIE), the American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH), the International Standards Organization (ISO), the International Commission on Occupational Health (ICOH), the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), and the U.S. National Council for Radiation Protection and Measurement (NCRP). ICNIRP also enters into consultation with IRPA national radiation protection societies.

ICNIRP continuously monitors and periodically carries out critical reviews of the scientific literature concerned with the physical characteristics and sources of NIR and possible biological and adverse health effects. In doing so, ICNIRP limits its surveillance to published original scientific papers and reports that are generally available. ICNIRP performs such critical scientific analysis by evaluating the relevance and scientific quality of each report. To assist in this ongoing review process, ICNIRP has formed a number of scientific Standing Committees whose membership includes additional experts. In addition, the Commission may appoint further experts as consulting members. ICNIRP can be seen as a repository of information on the epidemiological, medical, biological, physical, and technological aspects of NIR.

* ICNIRP Secretariat, c/o Dipl.-Ing. Rüdiger Matthes, Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Oberschleissheim, Germany. During the preparation of this statement, the composition of the Commission was as follows: A. Ahlbom (Sweden); U. Bergqvist (deceased, Sweden); J. H. Bernhardt, Vice Chairman since March 2000 (Germany); J. P. Césarini (France); F. DeGrujil (The Netherlands); M. Grandolfo, until March 2000 (Italy); M. Hietanen (Finland); A. F. McKinlay, Chairman since March 2000, (UK); R. D. Owen (USA); D. H. Sliney (USA); J. A. J. Stolwijk, until March 2000 (USA); A. Swerdlow, since March 2000 (UK); L. D. Szabo, until March 2000 (Hungary); M. Taki (Japan); T. S. Tenforde (USA); P. Vecchia, since March 2000 (Italy); B. Veyret, since March 2000 (France); M. H. Repacholi Chairman Emeritus (Switzerland); R. Matthes Scientific Secretary (Germany).

For correspondence or reprints contact ICNIRP at www.icnirp.org.

0017-9078/02/0

Copyright © 2002 Health Physics Society

ICNIRP disseminates information on specific topics of importance to NIR protection and formulates its advice by means of scientific reviews, proceedings of scientific symposia, statements on specific topics, guidelines on limiting exposure, and practical occupational exposure guides (in collaboration with ILO). In accord with its collaboration with WHO, ICNIRP contributes scientific advice to that body.

ICNIRP recognizes that the acceptability and adoption of a complete system of protection also requires data and evaluations based on social, economic, and political considerations. It is ICNIRP's view that these matters are more appropriate to the functions of national governments and their designated authorities. ICNIRP and other scientific advisory bodies may, however, provide background information of relevance for such evaluations.

Whereas ICNIRP provides general practical information on measurable levels that are derived from basic restrictions on exposure, it recognizes the need for further technical advice on special exposure situations. This requires physics and engineering expertise to develop practical measures to assess and/or to enable assessment of compliance with ICNIRP exposure guidelines. This includes guidance on the principles and practice of measurements, design of equipment and/or shielding to reduce exposure, and, where appropriate, setting emission limits for specific types of devices. ICNIRP considers that these matters are more appropriate to the functions of international, regional, and national technical standards bodies.

APPROACH TO HEALTH RISK ASSESSMENT

Any single observation or study may indicate the possibility of a health risk related to a specific exposure. However, risk assessment requires information from studies that meet quality criteria as listed in the Appendix. Peer-reviewed literature usually provides information to judge the extent to which these criteria are met. Assessment of established risks normally requires consistent information from several such studies. ICNIRP, in carrying out its critical reviews, monitors the accumulation of new evidence, leading, as appropriate, to updating health risk assessments. These are based on the totality of the science, not just on the added information. In some cases, for example when a specific question or concern arises in public debate, or when a study appears that has or is perceived to have a major influence on the state of knowledge, a statement summarizing the scientific situation may be issued by ICNIRP. It is important to recognize that all assessments are based on current knowledge, and as such will be subject to revision in the light of new substantiated evidence.

The following sections deal with the nature of health effects and how they can be related to exposure. In subsequent sections, methods for categorizing and evaluating studies are presented, including how conclusions are drawn from the compiled and evaluated database.

Nature of health effects

Exposure to NIR may cause different biological effects, with a variety of consequences for a human being. Biological effects may be without any known adverse or beneficial consequences, other effects may result in pathological conditions (diseases), while still other biological effects have beneficial consequences for a person. Annoyance or discomfort may not be pathological per se but, if substantiated, can affect the physical and mental well being of a person and the resultant effect should be considered as a potential health hazard. ICNIRP seeks to define what is meant by adverse effects in its specific scientific reviews and guidelines. Examples are provided in Tables 1 and 2.

In determining whether an adverse effect is present in a person, it is useful to consider the different ways data have been obtained. Results of tests (e.g., chemical analysis of blood) may be read off an instrument. Signs are effects that may be observed by a physician or other examiner, e.g., a rash or swelling. Symptoms are effects that only the exposed subject experiences, e.g., pain, nausea, or fatigue. A diagnosis of disease is normally based on an agreed specific combination of such endpoints.

Biological effects without any identified adverse health consequences do not form a basis for limiting of exposure to NIR. However, ICNIRP recognizes that concern about other unsubstantiated health effects may in itself adversely affect the health of a person, and that this may be best addressed by providing appropriate information. The scientific evaluations performed by ICNIRP and other scientific advisory bodies could form a basis for such information.

If, in parallel to adverse effects, beneficial health effects or other benefits are involved, a balanced judgement will be required as to how the exposure limits are used in the process of societal policies on addressing risks. Benefits may be manifested both on an individual and at a societal level, one example being the information carried by electromagnetic fields for radio and television services. However, as such a balance will often involve social or economic considerations, this judgement is best performed by national authorities.

The question of whether a biological or physiological parameter (such as temperature or blood pressure) falls within the "normal range" is frequently posed. The implications of this in terms of adverse health effects will depend on the particular endpoint under consideration and may vary between populations and with the environment.

The exposure guidelines developed by ICNIRP are intended to protect against the adverse health effects of NIR exposure. Because adverse consequences of NIR exposure can vary across the entire range from trivial to life threatening, a balanced judgement is required before deciding on exposure guidance.

Exposure and dosimetry

A physical agent has to interact with the target tissue in order to induce a biological effect. The agent external

Table 1. Relevant mechanisms of interaction, adverse effects, biologically effective physical quantities and reference levels used in different parts of the optical spectrum.

Part of optical spectrum	Relevant mechanisms of interaction	Adverse effect	Biologically effective physical quantity	Exposure, reference level
Ultraviolet radiation UVA, UVB, UVC (180 to 400 nm).	Photochemical alterations of biologically active molecules such as DNA, lipids, and proteins.	Acute erythema, keratitis, conjunctivitis, cataracts, photoretininitis, accelerated skin aging, skin cancers.	Fluence and action spectrum weighted radiant exposure.	Radiant exposure at skin or cornea.
Visible radiation (380 to 600 nm).	Photochemical alterations of biological molecules in the retina.	Photoretininitis ("blue-light hazard").	Retinal radiant exposure weighted by action spectrum.	Radiance and exposure duration.
Visible and near-infrared radiation (IRA) (400 to 1,400 nm).	Thermal activation or inactivation.	Thermal injury: skin burns and retinal burns.	Irradiance, radiant exposure and absorbing volume (spot size) at tissue site.	Radiance and exposure duration.
	Photocoagulation.	Thermal denaturation of proteins, tissue coagulation/necrosis.		
Middle (IRB) and far-infrared radiation (IRC) (3 μ m to 1 mm).	Thermal activation or inactivation. Coagulation.	Thermal injury: skin and corneal burns, cataracts. Thermal denaturation of proteins. Tissue coagulation/necrosis.	Irradiance, radiant exposure and absorbing volume (spot size) at tissue site.	Radiant exposure and irradiance at skin or cornea.
Laser radiation (180 nm to 1 mm).	Photochemical, photothermal, photoacoustic, exposure duration < 100 μ s. Photoablative exposure duration < 100 ns. Bubble or plasma formation (change of phase). Non-linear optical effects.	Tissue damage. Skin burns. Ocular burns. Tissue vaporization.	Radiant exposure and irradiance.	Radiant exposure and irradiance at skin or cornea; exposure duration.

Table 2. Relevant mechanisms of interaction, adverse effects, biologically effective physical quantities and reference levels used in different parts of the electromagnetic field spectrum.

Part of NIR spectrum	Relevant mechanism of interaction	Adverse effect	Biologically effective physical quantity	Exposure, reference level
Static electric fields.	Surface electric charges.	Annoyance of surface effects, shock.	External electric field strength.	Electric field strength.
Static magnetic fields.	Induction of electric fields in moving fluids and tissues.	Effects on the cardiovascular and central nervous system.	External magnetic flux density.	Magnetic flux density.
Time-varying electric fields (up to 10 MHz).	Surface electric charges.	Annoyance of surface effects, electric shock and burn.	External electric field strength.	Electric field strength.
	Induction of electric fields and currents.	Stimulation of nerve and muscle cells; effects on nervous system functions.	Tissue electric field strength or current density.	Electric field strength.
Time-varying magnetic fields (up to 10 MHz).	Induction of electric fields and currents.	Stimulation of nerve and muscle cells; effects on nervous system functions.	Tissue electric field strength or current density.	Magnetic flux density.
Electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).	Induction of electric fields and currents; absorption of energy within the body.	Excessive heating, electric shock and burn.	Specific energy absorption rate. ^a	Electric field strength; magnetic field strength; power density.
	> 10 GHz: Surface absorption of energy.	Excessive surface heating.	Power density.	Power density.
	Pulses < 30 μ s, 300 MHz to 6 GHz, thermo-acoustic wave propagation.	Annoyance from microwave hearing effect.	Specific energy absorption.	Peak power density.

^a Averaged over an appropriate period of time and mass of tissue.

to the body and the biological endpoints are directly measurable, but the decisive interaction at the target is usually not. It is the nature (e.g., photochemical reactions or the induction of an electric current) and the efficacy of this interaction that determines the biological effect. Hence, the biologically effective quantity, which represents the efficacy by which a certain biological effect is induced, needs to be quantitatively linked with the associated external radiation or fields.

From this it follows that different types of effects may be related to different biologically effective quantities. This is clearly seen when comparing biological effects in different parts of the NIR spectrum. In addition, within a specific NIR spectral region, different effects may also be related to different biologically effective quantities (Tables 1 and 2).

A good understanding of the fundamental interaction and a correspondingly accurate definition of the biologically effective quantity are necessary when results from animal and *in vitro* experiments are used to evaluate possible responses in humans.

Relations between biologically effective quantities and effects

According to a simple but useful model, a biological effect can result from one of two processes: deterministic or stochastic. With the former, the magnitude of the effect is related to the level of exposure, and a threshold may be defined. A stochastic process, on the other hand, is one where the exposure determines the probability of the occurrence of an event (the biological effect) but not the magnitude of the effect. In principle, this distinction requires an understanding of the underlying mechanism. Thus, an important distinction is that some responses have a threshold (i.e., a minimum biologically effective quantity has to be applied for the effect to occur) and others do not. Additionally, different repair and protective processes may eliminate or substantially mitigate any effects of exposure. Such processes may occur at the molecular, cellular, organ, or whole organism level.

When characterizing the effects and their temporal relationships to exposure, it is important to clearly elucidate the meaning of the terms used to describe them.

The adverse effects that have been established most clearly in humans as consequences of NIR exposures are those developing immediately after a short term exposure. This is in contrast to effects that may appear only after a long term exposure and/or a long delay.

A fundamental aspect of any study investigating a potential adverse effect on health is the reliability of the exposure assessment. A lack of knowledge about the basic mechanism (consequently no proper identification of the biologically effective quantity) constitutes a central problem with reliability. Even in circumstances where the biologically effective quantity has been identified, reliable dosimetry may be either difficult or impossible. For example, in an animal experiment, although the external exposure can be measured adequately, there are practical difficulties in relating this to the biologically effective quantity.

Another important aspect of the reliability of the exposure assessment is the accuracy of the exposure data. This becomes of critical importance in determining the quantitative relationships between exposure and effect. In this process, the determination of geometrical factors related to specific organ exposure (such as eye, skin, brain, or limbs) is important. In epidemiological studies, there is often a difficulty in establishing an individual's total exposure history, and surrogates for exposure are therefore often used.

Like the exposure, the biological effect needs to be adequately determined; i.e., it should be based on well-defined objective criteria. A biological effect may be quantified in several ways, and thus different relationships with exposure may be established. For example, one can measure the degree of an effect displayed by an individual, the percentage of individuals responding depending on the biologically effective quantity, or the relative risks comparing groups with different exposure levels. These measurements differ importantly in the way they contribute to the risk assessment. Dependent on the quality of the exposure assessment, they may also be of limited use for numerical assessment of the relationship between exposure and risk.

If the distribution of exposure can be determined for a population and the relationship between exposure and risk of adverse effect can be quantified, then, in principle, one can estimate the number of individuals who will develop the effect. It is this type of estimate (or, e.g., an estimate of a person's lifetime risk of adverse effects) that is the ultimate aim of a health risk assessment.

If several effects occur, it may be possible to rank them according to the exposure level at which each becomes relevant. The critical effect is the established adverse health effect that is relevant at the lowest level of exposure. In this ranking of effects and defining of the critical effects, additional judgements based on the severity of the effects may, at times, be needed.

Evaluation of data

Hierarchy of data. Because risk assessment is ultimately aimed at human health, ideally the data should be derived from human studies. The relationship between exposure and certain short-term biological effects can sometimes be evaluated from human laboratory studies, whereas data on long term human effects can only be derived from epidemiological studies. However, in spite of their direct relevance, the results of epidemiological studies may not, in themselves, provide sufficient evidence of causal relationships without biological plausibility or supportive data from experimental studies, especially when the suggested risks are small.

Animal experiments are valuable in the analysis of the biological effects and mechanisms, as they involve a complete organism, including all relevant *in vivo* reactions—at least for the animal. Long term animal experiments are useful when considering possible adverse health effects in humans. Such studies may also be useful in clarifying whether a causal relationship exists. *In vitro*

studies can provide detailed information on biophysical mechanisms at the level of molecular, cellular or inter-cellular interactions.

The results of animal and *in vitro* experiments need to be carefully interpreted in order to be meaningfully extrapolated to humans. Based on the premise that the mechanism at the target level is the same in the models and in the human body, the exposure-effect relationships found in the model may be adjusted for application to humans, using the biologically effective quantity. For example, damage inflicted by optical radiation depends on the transmission to the target, and this transmission (in the eye or skin) may vary significantly between an animal (e.g., a mouse) and a human. In general, supportive human data are important for a full evaluation of the relevance to human health of the results from animal studies.

Some clinical reports, although failing to fulfil the quality criteria given above for human health studies, may nevertheless provide complementary information. Anecdotal reports in themselves do not provide a basis for the assessment of risk, because of their inherent poor control and possible observational bias. They may, however, provide an indication of the need for further investigation or advice.

Selection of studies. The use of quality-oriented selection criteria for the literature to be evaluated and clear and transparent methods for its evaluation add confidence that the results and conclusions of the health risk assessment are valid and can be considered to assess possible health hazards from NIR exposure.

The evaluation is normally based on published peer-reviewed original scientific papers and reports. Technical reports may sometimes be acceptable as well, e.g., for details of exposure assessments. In this literature, descriptions of methods are normally given in sufficient detail to ascertain whether reasonable precautions were taken to meet requirements such as those given in the Appendix, and to assure that other researchers can reproduce the studies.

In principle, well-designed and well-conducted studies should be published regardless of the outcome, because negative results are as useful as positive studies when considering the overall literature. In practice, this is not always the case, and the possibility of such publication bias should be considered.

Evaluation process. The evaluation process used by ICNIRP consists of three steps. It is inevitable that parts of this process are a matter of scientific judgement, and that details of the process may vary depending on the question addressed. Hence, the description below provides overall guidelines, not strict rules.

The three steps are as follows:

- Evaluating single studies in terms of their relevance to the health effects being considered and of the quality of methods used. The criteria described in the Appendix can be used as guidance in this evaluation, and may

result in the exclusion of some studies from further use, or assigning different weights to studies, depending on their methodological quality. Such judgements should be made in light of the hypothesis to be evaluated, as the ability of a study to contribute to this evaluation may vary depending on the hypothesis.

- For each health effect evaluated, a review of all relevant information is required. At first, this review is normally done separately for epidemiological studies, for human laboratory, for animal studies and for *in vitro* studies, with further separations as appropriate for the hypothesis.
- Finally, the outcomes of these steps need to be combined into an overall evaluation including an evaluation of consistency of human data, animal data and *in vitro* data.

ICNIRP's Standing Committees, with support from consulting members as appropriate, normally perform the first two steps of this process, while the full Commission in collaboration with the Standing Committees performs the last step.

Overall evaluation. A decision must first be made whether the data considered allow the identification of an exposure hazard, i.e., an adverse health effect that is caused by an NIR exposure. By this identification, the effect becomes "established" in the sense used in the next chapter. In spite of the evaluation process described above, uncertainties and inconsistencies may still be encountered in comparative evaluations of the literature. Thus, it is recognized that this evaluation is at least partly based on scientific judgements. Various schemes and "criteria" exist in order to facilitate this judgement process (Hill 1965; IARC 1995).

For an actual estimate of risk in the general population or in a specific group, the selected studies should provide additional information, including

- the definition of the biologically effective quantity, which may vary with organ;
- exposure-effect relationship, and identification of a threshold, if any;
- exposure distribution and identification of sub populations with high exposure; and
- differences in susceptibilities within a population.

This information in whole or in part also in principle forms the necessary background for the development of advice including guidance on limiting exposure.

PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF GUIDANCE ON LIMITING EXPOSURE

Following the evaluation of the literature (as described above), it may be possible to identify adverse effects on human health related to NIR exposures that are judged to be well established. The existence of such established NIR effects forms the rationale for the ICNIRP exposure guidelines.

The following sections deal with the nature of the exposure, the effects, their relationships, the individuals being protected, and the use of reduction factors in determining the precise form of the guidelines.

The nature of exposure–effect relationships

Ideally, advice on limiting exposure to NIR can be developed based upon a quantitative relationship between the exposure and the adverse effect. In many cases, such a quantitative relationship could take the form of a threshold. It may then be possible to state a level of exposure below which the adverse effect can be avoided.

If available data permit the identification of an adverse effect, but not the detection of a threshold, other risk reducing strategies may be employed. The role of ICNIRP as a scientific advisory body would be to analyze the risk in terms of levels of consequences that could be quantified. The acceptability of such risks would, however, be based also on social and economic considerations, and, as such, fall outside the remit of ICNIRP. National authorities responsible for risk management may provide further advice on strategies to avoid the effect or limit the risk.

The nature of the effect

The identification of an immediate effect is generally straightforward because the cause and effect relationship can be easily established. Furthermore, the quantitative relationships are more easily determined and validated. If an adverse effect follows the exposure with considerable delay, the identification of an adverse effect requires a more difficult scientific judgement, especially in the absence of a known biophysical interaction mechanism. In addition, even in the case of an identified (delayed) adverse effect, the quantitative relationships between exposure and effect may be difficult to ascertain, because it may be difficult to determine the exposure pattern retrospectively, and the applicable exposure metric may not be known.

In principle, ICNIRP guidelines are set to protect against critical effects of exposure. Accordingly, protection is also offered against all effects occurring at higher exposure levels. However, as the critical effect is related to a specific definition of the biologically effective quantity, other effects may be critical under other exposure definitions. Examples are the formulation of exposure limitations in terms of Specific Energy Absorption (SA), Specific Energy Absorption Rate (SAR), blue light exposure, and exposure rate to the retina.

Exposure characterization

As described above, the biologically effective quantity reflects the efficacy by which the external exposure causes a certain biological effect. This quantitative relationship between external measurable exposures and the target tissue biologically effective parameter is unique to a single exposure condition. Therefore, for a given level of external exposure, any change in the exposure condition may affect the efficacy of the interaction by which a certain biological effect is induced.

In some NIR exposure situations (such as when surface effects are considered), the biologically effective quantity can be conveniently and directly evaluated by measuring external exposures. This is generally the case for all optical radiation and for microwave radiation at frequencies greater than about 10 GHz, as well as for electric fields of low frequencies. For low frequency magnetic field exposures or for electromagnetic fields of higher frequencies, however, this is not the case. In such cases a conservative estimate is made of parameters reflecting the relationship between the identified biologically effective quantity and the external, more easily measured exposure level. This can be achieved by mathematical modeling and extrapolation from the results of laboratory investigations at specific frequencies, using worst case assumptions.

The general strategy of ICNIRP is to define a basic restriction in terms of the biologically effective quantity, and then, if necessary, to relate this to reference levels expressed in terms of a directly measurable external exposure (e.g., irradiance, power density, and field strength). In this way, a level (reference level) can be expressed in terms of an external exposure metric. This allows the development of strategies of exposure restrictions based on internal basic restrictions but implemented through reference levels. The use of reference levels ensures compliance with basic restrictions on exposure, since the relationships between them have been developed for situations of maximum absorption or coupling conditions between the external radiation or field and the exposed person (worst case). If the reference level is exceeded, the basic restriction is not necessarily exceeded. Whether this is so must be ascertained through a more detailed investigation. The procedure enables the professional investigator to make measurements as appropriate and interpret the results using his or her professional judgement.

The use of this procedure has several advantages:

- The basic restrictions (in terms of the biologically effective quantities) are closely related to the biological mechanisms, while
- the reference levels are easier to evaluate, and, through further technical evaluations, more easily related to emission levels from sources.

In addition, complicated dosimetric relationships are often avoided in practical occupational hygiene.

In expressing the reference levels, ICNIRP strives to avoid using either overly complex variations with time and frequency (or wavelength) or overly simplified, excessively restrictive expressions. With changing technology, refinements in the reference levels may be made to aid in the ease of applications, provided that the basic restrictions are still met. For the success of this strategy, it is important that the exposure metric has been demonstrated to be the effective one and that the biological mechanism is accepted as relevant for the adverse effects in question.

Reference levels are therefore provided strictly as an aid for practical exposure assessments to determine

whether the basic restrictions are likely to be exceeded. ICNIRP recommends the use of reference levels as a general guidance for limiting exposures of workers and of the general public.

The basic restriction-reference level strategy depends on an understanding of the interaction mechanism and the appropriate development of dosimetric relationships. In some circumstances, an adverse effect may be identified, but the exposure limitation can only be described in terms of the external exposure. In such cases, reference levels may be used to control the exposure directly.

Depending on the specific biophysical mechanism involved in the interaction process, the exposure condition relevant for the biological effect of the non-ionizing radiation can be quantified either in terms of the instantaneous level (or time-dependent function thereof) of the biologically effective parameter or as its time integrated value. Examples of the use of the former include interaction processes involving the heating of tissue (for example infrared absorption rate) and of the latter photochemical processes (for example blue-light effects and ultraviolet radiation induced erythema).

Tables 1 and 2 summarize currently established mechanisms of interaction, adverse effects, biologically effective quantities, and corresponding external exposure parameters across different parts of the NIR spectrum.

People being protected

Different groups in a population may have differences in their ability to tolerate a particular NIR exposure. For example, children, the elderly, and some chronically ill people might have a lower tolerance for one or more forms of NIR exposure than the rest of the population. Under such circumstances, it may be useful or necessary to develop separate guideline levels for different groups within the general population, but it may be more effective to adjust the guidelines for the general population to include such groups.

Some guidelines may still not provide adequate protection for certain sensitive individuals nor for normal individuals exposed concomitantly to other agents, which may exacerbate the effect of the NIR exposure, an example being individuals with photosensitivity. Where such situations have been identified, appropriate specific advice should be developed—within the context of scientific knowledge.

In some circumstances, it may be advisable to distinguish between members of the general public and individuals exposed because of or while performing their work tasks (occupational exposure). In its exposure guidelines, ICNIRP distinguishes occupational and public exposures in general terms. When applying the guidelines to specific situations, it is ICNIRP's opinion that the relevant authorities in each country should decide on whether occupational or general public guideline levels are to be applied, according to existing (national) rules or policies. Environmental conditions may also influence the effect of whole-body exposure to optical or RF radiation.

Many forms of NIR find application in medical practice, often at exposure levels that are much greater than those to which the general population might be exposed. In the case of patients receiving NIR exposures as a part of their medical treatment, ICNIRP considers that the provision of advice on such exposures lies outside the scope of its exposure guidelines. Seriously ill patients might be considered as more vulnerable when exposed to NIR, but ICNIRP guidelines do not consider these potential vulnerabilities because such patients are under active medical management.

The distribution of levels of exposure and the fraction of the population that may be exposed at each level are important factors in relation to exposure guidelines for NIR. Often there are few data on such distributions, but where they exist, they can provide an important insight as to the social and economic impact of implementation of recommended guidelines for NIR exposure.

The use of reduction factors

The identification and quantification of various adverse effects of NIR exposure on health and wellbeing are difficult at best, and such judgements require extensive experience and expertise. Uncertainties in the knowledge are compensated for by reduction factors, and the guidelines will accordingly be set below the thresholds of critical effects. Some of the immediate effects can be quantified with reasonable precision, and derivation of guidelines will not require a substantial reduction below the observed threshold levels. When the precision and certainty of the relationship between exposure and adverse outcome is lower, a larger reduction may be warranted. There is no definite basis for determining the precise magnitude of the reduction factors, and the choice of the reduction is a matter of scientific judgement. As with all the procedures, setting reduction factors should be free of vested commercial interest.

Some examples of sources of uncertainty about exposure-effect threshold levels include the extrapolation of animal data to effects on humans, differences in the physiological reserves of different people with corresponding differences in tolerance, and statistical uncertainties (confidence limits) in the dose-response function. In ICNIRP's view, uncertainty in measurements used to implement the guidelines is a problem more appropriate to the functions of organizations responsible for the development of compliance methods. It is not considered in the setting of reduction factors by ICNIRP.

It should be noted that the use of reference levels may, in many cases, result in additional reductions as they correspond to basic restrictions only under maximum absorption or coupling.

Approaches to risk management

The ICNIRP approach to providing advice on limiting exposure to NIR necessarily requires well-based scientific data related to established health effects. When, in the absence of sufficient scientific evidence for the existence of a suspected adverse health effect, there are

calls for protective measures, a number of approaches to risk management have been applied. These approaches generally center on reducing needless exposure to the suspected agent. However, ICNIRP emphasizes the need to ensure that the practical manner in which such approaches are applied should not undermine or be to the detriment of science based exposure guidelines.

ICNIRP notes the clarification afforded by the European Commission (CEC 2000; Foster et al. 2000) on the practical application of one such approach, the Precautionary Principle. For example, this includes the degree to which the Principle is based on the science (requiring an evaluation of risk research), and the provisional nature of measures pending further acquisition of scientific data.

CONCLUDING REMARKS

This document describes the philosophy and general methodology by which ICNIRP evaluates the scientific literature on possible health risks of non-ionizing radiation, and the procedures by which ICNIRP uses such data in formulating its advice on non-ionizing radiation exposure. In practice, the critical steps in applying these general procedures may differ across the non-ionizing radiation spectrum. Several steps in these procedures require scientific judgement, e.g., on reviewing the scientific literature and determining appropriate reduction factors.

This document provides a transparent general framework for these procedures. Descriptions of procedures and deliberations specific to various frequency or wavelength regions and sources of information are disseminated by ICNIRP in its scientific reviews, guidelines, statements, and practical guides. Through its independence and structure as described in this document, ICNIRP is also well placed to consult widely on these issues.

Acknowledgments—The support received by ICNIRP from the International Radiation Protection Association, the World Health Organization, and the French, German, Korean, and Swiss Governments is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Commission of the European Community. Communication on the Precautionary Principle. Brussels, February 2, 2000. Available at http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/pub/pub07_cn.pdf.
- Food and Drug Administration. Good laboratory practice for non-clinical laboratory studies. Washington, DC: Food and Drug Administration, US Department of Health and Human Services; Fed Reg 21 CFR Ch: 1 (4-1-93 Edition), Part 58:245-258; 1993.
- Foster KR, Vecchia P, Repacholi MH. Risk management: Science and the Precautionary Principle. *Science* 288:979-981; 2000.
- Hill AB. The environment and disease: Association or causation? *Proc R Soc Med* 58:295-300; 1965.
- International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks of humans: Preamble. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 1995.
- National Toxicology Program. Specification for the conduct of studies to evaluate the toxic and carcinogenic potential of chemical, biological and physical agents in laboratory animals for the National Toxicology Program (NTP). Attachment 2. August 1992 (including modifications through 9/95). Available from: National Institute of Environmental Health Sciences, Environmental Toxicology Program, PO Box 12233, Research Triangle Park, NC 27709; 1992.
- Rothman KJ, Greenland S. Modern epidemiology. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998.

APPENDIX

Criteria for the design and evaluation of single studies

The following criteria are primarily intended for use when designing, conducting, and reporting a single study. By their nature, these criteria can also be used as a guide in evaluating studies. It should be kept in mind, however, that useful complementary data might be obtained also from studies that do not fulfil these criteria.

Epidemiological studies

Investigations of associations in people between exposure levels and adverse health effects can utilize both human laboratory and epidemiological studies (for laboratory studies, see below). Epidemiological studies require the fulfillment of a number of criteria that effectively take into account and reduce the possible impact of bias, confounding, and chance variation in the interpretation of results. Guidelines on the conduct of high-quality epidemiology have been given, e.g., by Rothman and Greenland (1998). A summary is given below:

- The study design should attempt to gain maximum efficiency, both in reaching study objectives and in utilizing resources. Depending on the nature of suspected relationships between exposure and adverse health effects, as well as the specific study aim, various designs, such as case-control or cohort, may be appropriate.
- Ascertainment of an adequate population sample size and statistical power should be based on prior statistical evaluation.
- In cohort studies, the study populations should be well defined from the outset. Hypotheses to be investigated must be explicitly and clearly stated. The manner by which cases of adverse health are ascertained must also be clearly stated, and case identification must be independent of exposure.
- In case-control studies, controls should be appropriately chosen, taking into account the specific study aim. This enables the study to minimize the impact of factors other than those under study.
- Regardless of study design, the minimization of non-response, non-participation, and incomplete follow-up

is important, both to achieve the required study sample size, and to minimize the possibility of selective non-response (e.g., related to both disease and exposure status). If response rates are low, the results should be accompanied by an appropriate analysis of non-respondents.

- Both in study design and analysis, researchers should take into account the possibility of confounding factors. Data on potential confounders should be collected and appropriate statistical analysis should be used to minimize the effect of confounding on conclusions.
- Investigators should characterize the exposure as precisely as possible. Data on different levels of exposure, its duration, and temporal location should be collected, and the dosimetric measure utilized should be identified. Preferably, exposure assessment should be on an individual basis. The exposure should be assessed independently of the adverse health status.
- In light of the complexity of the topic, studies should be designed and implemented using expertise from all appropriate scientific disciplines.
- The methods used for statistical analysis should be appropriate for the purpose of the study, and they should be clearly described. The authors should report the basic data on which conclusions are founded.
- To allow combined analysis of several studies in the future, appropriate means to enable this, such as the use of standardized questionnaires, methods, and reporting data, should be considered.

Laboratory studies

Detailed guidelines on the conduct of high quality laboratory research can be found in the good laboratory practice of the US Food and Drug Administration (FDA 1993) and in the specifications of the US National Toxicology Program (NTP 1992). Here, we consider laboratory studies on the effects of NIR on humans, animals and on in vitro systems.

Essential points for the conduct of high quality research are:

- Experimental techniques, methods, and conditions should be as completely objective as possible and based on biological systems appropriate to the endpoints studied. Safeguard from bias, such as double-blind techniques, blind scoring or codes, should be used where appropriate. The sensitivity of the experiment should be adequate to ensure a reasonable probability that an effect would be detected, if one exists.
- Environmental conditions should be measured and recorded periodically (i.e., temperature, humidity, vibration, sound as well as the background levels of appropriate parts of the NIR spectrum). The NIR exposure under study should be fully characterized and re-measured periodically. Where appropriate, detailed descriptions of the dosimetry should be made.

- All data analysis should be completely objective, with no relevant data deleted from consideration and with uniform use of analytical methods. When results are reported as ratios, the underlying data should also be reported or be available for in-depth analysis.
- Studies should be designed with sufficient statistical power so that results demonstrating an effect of the relevant variable at a high level of statistical significance using appropriate tests are obtainable. If studies are non-positive, this should also be demonstrated with some assurance.
- Results should be quantifiable and susceptible to confirmation by independent researchers. Preferably, the experiments should be repeated and the data confirmed independently, or the claimed effects should be consistent with results of similar experiments, for which the biological systems involved are comparable. Theories (e.g., for mechanisms of interaction) should make sufficiently concrete predictions that they can be tested experimentally.
- Results should be viewed with respect to previously accepted scientific principles before ascribing them to new ones. Research findings pointing to previously unidentified relationships should be carefully evaluated and appropriate additional studies should be conducted before the findings are further accepted.
- An indication of the relevance of the model and the endpoint to human health would increase the usability of the results.
- In human experimental studies, such as clinical trials or provocation studies, good practice should include appropriate and well described criteria for inclusion and exclusion of volunteers, and adherence to relevant ethical rules and restraints.

Additionally, some general information can be found in:

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation. A reference book based on guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation and statements on special applications. Matthes, R.; Bernhardt, J. H.; McKinlay, A. F. (eds.). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ISBN 3-9804789-6-3; 1999.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Measurement of optical radiation hazards. A reference book based on presentations given by health and safety experts on optical radiation hazards. Gaithersburg, Maryland, USA September 1-3:1998. Matthes, R.; Sliney, D.; DiDomenico, S.; Murray, P.; Wengraitis, S.; Phillips, R. (eds.). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. International Commission on Illumination. ISBN 3-9804789-5-5; 1998.

■ ■