

**LES TELEPHONES MOBILES,  
LEURS STATIONS DE BASE  
ET LA SANTE**

**Etat des connaissances et recommandations**

**Rapport  
au Directeur Général de la Santé**

**16 janvier 2001**

# SOMMAIRE

<b>Résumé du rapport</b>	<b>p.5</b>
<b>Summary</b>	<b>p.8</b>
<b>Introduction</b>	<b>p.11</b>
<b>I- La démarche suivie par le groupe de travail</b>	<b>p.13</b>
- La nécessaire expertise collective de la littérature scientifique	<b>p.13</b>
- Effets biologiques et effets sanitaires	<b>p.14</b>
- Faut-il appliquer le principe de précaution en matière de CEM-RF et de santé ?	<b>p.15</b>
- Critères de sélection et méthode d'analyse des rapports et documents récents concernant les téléphones mobiles et la santé	<b>p.17</b>
<b>II- Radiofréquences et santé : éléments de physique et de biologie</b>	<b>p.20</b>
- Introduction	<b>p.20</b>
- Bases physiques des champs électromagnétiques	<b>p.20</b>
- Effets biologiques des champs électromagnétiques radiofréquences	<b>p.23</b>
- Effets thermiques	<b>p.23</b>
- Effets non thermiques	<b>p.24</b>
- Téléphonie mobile : aspects technologiques	<b>p.24</b>
- Implantation des stations de base et exposition des personnes	<b>p.28</b>
- Mise au point sur la question des réflexions et amplifications des ondes	<b>p.37</b>
- Au sujet de la co-localisation des stations de base	<b>p.38</b>
- Résultats des mesures de champs avec kits mains libres	<b>p.38</b>
- Règles techniques relatives au équipements	<b>p.39</b>
<b>III- Les valeurs limites d'exposition des personnes aux champs liés aux radiofréquences : les principes actuels de la gestion des risques</b>	<b>p.40</b>
<b>IV- L'état des connaissances scientifiques : analyse des rapports et des documents récents concernant les téléphones mobiles et la santé</b>	<b>p.42</b>
- Les rapports de base	<b>p.42</b>
- Analyse du rapport de l'ARCS	<b>p.42</b>
- Analyse du rapport Stewart	<b>p.48</b>
- Analyse des rapports McKinlay et COST 244bis	<b>p.57</b>

- Analyse du rapport de la Société Royale du Canada	<b>p.65</b>
- Les rapports additionnels	<b>p 73</b>
- Analyse du rapport de l'Académie des Sciences	<b>p.73</b>
- Analyse du rapport de Essor-Europe	<b>p.84</b>
- Analyse du rapport COMAR	<b>p.85</b>
- <i>Analyse du rapport au gouvernement Suédois</i>	<b>p.87</b>
- Analyse des documents du colloque de l'Assemblée Nationale	<b>p.88</b>
- Analyse du rapport de C. Sage	<b>p.90</b>
- Analyse de l'article de JM. Elwood	<b>p.96</b>
- Les articles scientifiques récents	<b>p.100</b>
- Articles expérimentaux et généraux	<b>p.100</b>
- Articles épidémiologiques	<b>p.106</b>
- Les enfants et l'exposition aux RF associées à la téléphonie mobile	<b>p.111</b>
- Les auditions (dans l'ordre chronologique)	<b>p.113</b>
M. Joe WIART	<b>p.113</b>
M. Jean-Claude CARBALLE	<b>p.117</b>
Mme Yvette SEGALA	<b>p.123</b>
Mme Élisabeth CARDIS	<b>p.127</b>
M. Jean Pierre CHEVILLOT	<b>p.132</b>
Mme Madeleine BASTIDE	<b>p.136</b>
M. Jean Marie ARAN	<b>p.139</b>
M. Pierre BUSER	<b>p.139</b>
M. Philippe HUBERT	<b>p.146</b>
M. Jean Paul VAUTRIN	<b>p.166</b>
Mme Michèle RIVASI	<b>p.170</b>
Mme Gaëlle PATETTA	<b>p.173</b>
M. Jacques FOURCADE	<b>p.176</b>
M. George CARLO	<b>p.183</b>
M. Marc SEGUINOT	<b>p.184</b>
M. Laurent BONTOUX	<b>p.185</b>
<b>V- Conclusions du groupe d'experts sur les risques sanitaires et recommandations relatives à la réduction des expositions de la population</b>	<b>p.187</b>
- Rappel bref des recommandations formulées dans les rapports récents	<b>p.187</b>
- Recommandations du groupe d'experts	<b>p.189</b>
- Conclusions et recommandations en Anglais	<b>p. 193</b>

<b>VI- Recommandations prioritaires pour la recherche</b>	<b>p.199</b>
- Les programmes actuels de recherche au plan international	<b>p.199</b>
- Recommandations du groupe de travail	<b>p.204</b>
- Étude des interactions biophysiques	<b>p.206</b>
- Étude des effets biologiques	<b>p.206</b>
- Études épidémiologiques	<b>p.209</b>
- Surveillance épidémiologique	<b>p.212</b>
- Organisation et financement de la recherche	<b>p.213</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>p.215</b>
<b>Annexes</b>	<b>p.257</b>
- Lettre de saisine du groupe d'experts	<b>p.258</b>
- Composition du groupe d'experts	<b>p.259</b>
- Réunions du groupe d'experts	<b>p.259</b>
- Personnes sollicitées et auditionnées	<b>p. 260</b>
- Présentation et interprétation des faits: illustration d'un exercice critique délicat	<b>p.261</b>
- Liste des documents utilisés par le groupe de travail	<b>p.264</b>
- Glossaire, sigles et abréviations	<b>p.266</b>
- Sites internet où trouver de l'information	<b>p.268</b>
- Références de la contribution de Ph Hubert (auditions)	<b>p.270</b>
- Biographies des membres du groupe d'experts	<b>p.272</b>

## **Remerciements**

Le groupe d'experts tient à remercier Michèle le Diraison (PIOM, CNRS-Bordeaux), Yvette Lacoste (Laboratoire de Santé Publique de l'UJF), et Isabelle Lagroye (PIOM, CNRS-Bordeaux), qui ont contribué à la préparation du rapport. Les éditeurs des revues scientifiques qui ont accepté de communiquer au groupe d'experts les articles à paraître sont également remerciés.

## RESUME DU RAPPORT

« Les conclusions des rapports récents dressant l'état des connaissances sur les risques pour la santé liés à l'usage des téléphones mobiles et à leurs équipements, justifient-elles une adaptation des règles de gestion des risques adoptées récemment par les instances françaises et européennes ? ». Telle est, en substance, la question centrale posée au groupe d'experts réuni par la Direction Générale de la Santé.

La gamme de fréquence exploitée pour la téléphonie mobile se situe, selon les opérateurs et les technologies, entre 850 et 1900 MHz, et s'étendra jusqu'à 2200 MHz, avec le développement de la nouvelle technologie UMTS, et dans la bande 400 MHz avec le système TETRA en cours de développement. Elle s'inscrit dans l'ensemble, plus vaste, des radio-fréquences, si présentes dans notre environnement à domicile (cuisson à micro-ondes...), au travail (systèmes de chauffage industriels...), ou dans l'espace public (émetteurs radio ou télévision, systèmes antivols ou de télécommandes ...), particulièrement en milieu urbain.

Le développement des télécommunications a été suivi par celui de la recherche sur les effets des champs électromagnétiques radiofréquences (RF) sur les systèmes biologiques. Les premiers travaux ont débuté après la deuxième guerre mondiale. Cette recherche s'est particulièrement intéressée aux mécanismes qui pourraient relier l'exposition des cellules humaines au développement de cancers. Le recul est encore limité, cependant, pour apprécier d'éventuels effets à long terme. Les phénomènes physiques et biologiques fort complexes qui opèrent appellent la mise au point de procédures d'expérimentation, de mesure et d'observation qui n'avaient pas toujours, dans les premiers travaux, été parfaitement contrôlées. D'où, malgré le volume important des travaux scientifiques, la difficulté à dégager, encore aujourd'hui, des conclusions claires. Des modifications, à court terme, de certains paramètres physiologiques ou biochimiques, ou encore de fonctions neuro-sensorielles fines, sont mises en évidence dans certains travaux, alors que d'autres contredisent certains de ces résultats. La signification de ces observations pour prédire la survenue d'effets à long terme est sujette à des discussions.

Cette difficulté à trancher préoccupe naturellement le public. L'interrogation sur la réalité de risques pour la santé résultant de l'exposition aux RF revêt une dimension particulière, alors que déjà près de 30 millions de personnes sont des usagers des téléphones mobiles en France et que le marché prévisible s'élève à plus de 44 millions dans 4 ans. Un risque, aussi faible soit-il au plan individuel, pèserait alors d'un poids très lourd en termes de santé publique, du fait même de cette étendue de l'exposition.

Mais la téléphonie mobile est aussi un facteur de sécurité sanitaire. La rapidité des alertes en cas d'accidents, de feux ou d'autres dangers, et l'efficacité des secours, sont considérablement améliorées par la large diffusion de cette technologie, qui a déjà sauvé de nombreuses vies dans le monde. Cette appréciation de la balance des risques, s'il sont réels, et des avantages, n'est pas dans la mission confiée au groupe d'experts, qui elle relève de *l'évaluation des risques*, laquelle procède de l'analyse des seules données scientifiques.

Ce rapport expose de manière détaillée, dans un premier chapitre, la démarche de synthèse critique suivie pour fonder le jugement du groupe d'experts et ses recommandations. Le second chapitre présente les sources et caractères des champs électro-magnétiques associés à la téléphonie mobile, et les mécanismes, connus ou explorés, par lesquels ils interagissent avec la matière vivante. Dans le troisième chapitre, les valeurs limites d'exposition du public aux RF associées à la téléphonie mobile sont rappelées, et leurs fondements scientifiques expliqués.

Le chapitre le plus volumineux est le quatrième, qui synthétise les résultats du travail du groupe d'experts sur l'état des connaissances scientifiques. Plusieurs instances scientifiques ont

produit, au cours de la période récente, des rapports visant à appréhender les effets biologiques et sanitaires des RF. Réunissant de nombreux experts de très haut niveau dans les diverses disciplines scientifiques concernées, ces instances ont analysé l'ensemble des travaux scientifiques disponibles alors. Le groupe d'experts s'est appuyé sur ces documents de synthèse pour répondre à la mission qui lui a été confiée ; ils sont au nombre de cinq, et rassemblent plusieurs centaines d'articles publiés dans la littérature scientifique. En plus de ces 'rapports de base', sept 'documents additionnels' ont été pris en considération, actes de colloques ou articles de synthèse apportant d'autres informations intéressantes. Le groupe d'experts a aussi veillé à prendre en considération les travaux publiés les plus récents, et ce jusqu'à la rédaction de ce rapport. Il a enfin sollicité l'avis, à l'occasion de séances d'auditions, de près de vingt personnalités des milieux scientifiques, administratifs, industriels, associatifs et politiques, à la fois pour compléter ses informations et pour mieux prendre en compte les préoccupations qui parcourent le corps social sur le sujet.

En conduisant cette mission d'évaluation des connaissances scientifiques, le groupe d'experts avait un double objectif :

- délimiter les domaines pour lesquels existent des données scientifiques convaincantes de l'existence ou, *a contrario*, de l'inexistence de conséquences biologiques et sanitaires de l'exposition aux RF liée à l'usage des téléphones mobiles et au fonctionnement de leurs stations de base ('ce que l'on sait'),
- souligner les domaines pour lesquels les données scientifiques actuelles ne permettent pas d'exclure des effets biologiques et sanitaires, sans pour autant autoriser l'affirmation de leur existence ('ce qui demeure incertain').

Les conclusions du groupe d'experts et ses préconisations sont exposées dans le cinquième chapitre. Elles sont fondées sur les considérations suivantes :

- 1- L'exposition des personnes est considérablement moindre au voisinage des stations de base – en dehors des zones d'exclusion – qu'au cours d'une communication avec un mobile.
- 2- Lors de l'exposition aux RF d'un mobile, les données scientifiques indiquent de manière peu contestable l'existence d'effets biologiques variés (profil de l'électro-encéphalogramme, temps de réaction,...) pour des niveaux d'énergie n'occasionnant pas d'accroissement de la température locale ; cependant, en l'état actuel des connaissances sur ces *effets non thermiques*, il n'est pas possible de dire aujourd'hui qu'ils représentent des menaces pour la santé.
- 3- Bien qu'il y ait peu d'arguments scientifiques pour l'étayer, l'hypothèse d'effets sanitaires associés aux champs RF de faible niveau associés aux téléphones n'est pas exclue, en l'état actuel des connaissances. Des travaux expérimentaux ou épidémiologiques se poursuivent ou sont engagés sur différents problèmes de santé, parmi lesquels certains cancers de la tête ou des maux de tête. Le rôle de l'exposition aux RF sur ces manifestations ou maladies n'est pas établi à ce jour. En revanche, compte tenu des niveaux d'exposition constatés, le groupe d'experts ne retient pas l'hypothèse d'un risque pour la santé des populations vivant à proximité des stations de base.
- 4- Si les recherches futures venaient à valider cette hypothèse, c'est-à-dire à montrer l'existence de risques pour la santé, leur probabilité, au niveau individuel, serait sans doute faible, car il est rassurant de constater que cette démonstration n'a pu être faite malgré, dans certains domaines, des travaux nourris depuis plusieurs années. Pourtant, dans ce cas de figure, le nombre très élevé d'utilisateurs de la téléphonie mobile pourrait conduire à ce que l'impact sanitaire collectif de ce risque individuel faible soit élevé.
- 5- Le risque accidentel, et notamment mortel, lié à l'utilisation d'un téléphone mobile lors de la conduite automobile est parfaitement établi ; il s'agit, en l'état actuel des connaissances, du seul risque sanitaire avéré, et il est grave.

Pour l'ensemble de ces raisons, et compte tenu de la mission qui lui a été confiée, le groupe d'expert recommande une approche de gestion des risques *s'inspirant du principe de précaution*, et visant à réduire au plus bas niveau possible l'exposition du public aux RF associées à la téléphonie

mobile, qui soit compatible avec la qualité du service rendu et justifié par les données scientifiques actuelles. Les différentes mesures préconisées sont détaillées dans le rapport complet ; elles ont aussi pour objectif de garantir aux utilisateurs et au public une information complète et accessible sur leur exposition. Le groupe d'experts considère que la mise en oeuvre de ces recommandations permettrait d'appliquer le principe de précaution de manière éclairée, c'est à dire fondée sur une démarche rationnelle.

Le sixième et dernier chapitre est consacré aux recommandations de recherche avancées pour réduire les incertitudes qui persistent à l'heure actuelle, sur les sujets jugés prioritaires. Des formes de financement de la recherche garantissant son indépendance vis à vis des divers intérêts en jeu sont proposées.

Au terme de son mandat, le groupe d'experts souligne qu'il a pu mener à bien son travail en toute indépendance, tant par rapport aux acteurs industriels que vis à vis des pouvoirs publics, la Direction Générale de la Santé ayant apporté un appui efficace et effacé à l'accomplissement de cette mission.

## SUMMARY OF THE REPORT

*"Do the conclusions of recent reports summarizing our current knowledge of the health hazards related to the use of mobile telephones and their accessories justify the adaptation of the risk management regulations recently adopted by the French and European authorities?"*. This was the main thrust of the question submitted to the group of experts brought together by the Direction Générale de la Santé (Health General Directorate).

The frequency range used for mobile telephony varies according to companies and their technologies, ranging from 850 to 1900 MHz. The range will be extended to 2200 MHz with the new UMTS technology, and to the 400 MHz waveband with the TETRA system, currently under development. These are part of the much wider range of radio frequencies present everywhere in our environment, at home (microwave cooking, etc.), at work (industrial heating systems, etc.), or in public places (radio and television transmitters, burglar alarm systems and remote-control devices, etc.), especially in urban areas.

The development of telecommunications has been followed by research into the effects of radio-frequency electromagnetic fields (RF) on biological systems. Work first started in this field after the Second World War. This research focused particularly on mechanisms that could link exposure of human cells to the development of cancers. It is still too soon, however, to assess any long-term effects. The highly-complex physical and biological phenomena involved necessitated the development of new experimental, measuring, and observation procedures that were not always completely controlled in the early research projects. This is why it is still difficult to draw clear conclusions, in spite of the enormous volume of scientific work on the subject. Some research evidenced short-term modifications in certain physiological or biochemical parameters, or even fine neuro-sensory functions, while other work contradicted these results. The significance of these observations in predicting the occurrence of long-term effects is debatable.

The public are naturally concerned by this difficulty in drawing conclusions. The issue of potential health hazards resulting from exposure to RF takes on a very special importance when it is considered that 30 million people are users of mobile telephone in France and that the expected market is 44 million within 4 years. Even if the individual risk were very small, the very number of people involved would produce a considerable impact in terms of public health.

On the other hand, mobile telephones are also a health safety factor. The speed with which the alert can be given in case of accident, fire, or other dangerous situations, and the effectiveness of emergency services have been considerably improved by the widespread availability of this technology, which has already saved many lives, worldwide. An evaluation of the trade-off between risks, if there are any, and potential advantages, was not part of the expert group's brief, which focused solely on *risk assessment*, based on the analysis of scientific data alone.

The first chapter of this report describes, in detail, the critical synthesis approach used to develop the group of experts' opinion and recommendations. The second chapter presents the sources and characteristics of the electromagnetic fields associated with mobile telephony, and the known or investigated mechanisms by which they interact with living matter. The third chapter gives the threshold limit values for public exposure to RF associated with mobile telephony and explains the scientific basis for the figures.

The fourth chapter is the longest. It summarises the group of experts' analysis of the current state of scientific knowledge. Several scientific bodies have recently produced reports containing comprehensive analyses of the biological and medical effects of RF. These bodies, consisting of top-level experts in the various scientific fields involved, have analysed all the scientific data available at the time. The group of experts used five summary documents, covering several hundreds of articles

published in the scientific literature, to carry out their mission. In addition to these 'basic reports', seven 'additional documents' were taken into consideration: symposium proceedings and summary articles providing interesting information. The group of experts also made sure to take the most recent published work into consideration, right up to the day this report was completed. Finally, the group interviewed about twenty people from scientific organisations, administrations, industry, associations, and politics, both to obtain further information and identify society's concerns on this issue more fully.

The group of experts had two main objectives in carrying out this assessment of scientific knowledge:

- To define the areas in which there were convincing scientific data proving the existence or, *a contrario*, the absence of biological and medical consequences following exposure to RF related to the use of mobile telephones and the operation of base stations (i.e. 'what we know'),
- To highlight the areas in which currently-available scientific data does not exclude the possibility of biological and medical effects, without necessarily confirming their existence (i.e. 'what is uncertain').

The group of experts' conclusions and recommendations are presented in the fifth chapter. They are based on the following considerations:

- 6- There is considerably less personal exposure in the vicinity of base stations – with the exception of exclusion areas – than there is when making a call with a mobile phone.
- 7- Scientific data indicate, with relative certainty, that, during exposure to RF from a mobile phone, a variety of biological effects occur (eg. electroencephalogram profile, reaction time, etc.) at energy levels that do not cause any local increase in temperature. However, in the current state of knowledge of these *non-thermal effects*, it is not yet possible to determine whether they represent a health hazard.
- 8- Although this assertion is backed up by little scientific argument, the hypothesis that certain medical effects are caused by the low-level RF fields associated with mobile telephones cannot be completely excluded, in the current state of knowledge. Experimental and epidemiological research into a range of health problems, including brain cancers and headaches, is currently in progress; the role of exposure to RF in these symptoms or diseases has not yet been clarified. However, in view of the exposure levels observed, the group of experts does not back the hypothesis that there is a health risk for populations living in the vicinity of base stations.
- 9- If future research were to validate this hypothesis, i.e. demonstrate the existence of health hazards, the risk, at an individual level, would probably be very low. Indeed, it is reassuring to note that it has not yet been demonstrated, in spite of the considerable amount of work done over the past several years. However, if mobile phone radiofrequency fields were hazardous, the very high number of mobile telephone users could mean that, even if the individual risk were very low, the impact on public health could be considerable.
- 10- The risk of accident and fatality associated with the use of mobile telephones when driving has definitely been established. In the current state of knowledge, this is the only known health risk, albeit a very serious one.

For all of these reasons, and in view of the brief they were given, the group of experts recommend a risk management approach *based on the precautionary principle*, aimed at reducing public exposure to RF associated with mobile telephony to the lowest possible level compatible with service quality and justified by current scientific data. The various measures recommended are described in the full report. The objective is also to ensure that users and the public have access to comprehensive information on their exposure. The group of experts consider that these recommendations would make it possible to apply the precautionary principle in an enlightened way, i.e. on the basis of a rational approach.

The sixth and last chapter is devoted to recommendations for advanced research to elucidate the remaining uncertainties in priority areas. Proposals are made concerning ways of funding research that would guarantee the scientists' independence from the various interests involved.

At the end of their mission, the group of experts would like to emphasise that they have been able to work completely independently, both from industry and public authorities. The Direction Générale de la Santé (Health General Directorate) provided them with the effective, discreet support necessary to complete their task.

*« Tout travail scientifique est incomplet - qu'il soit d'observation ou d'expérimentation. Tout travail scientifique est susceptible d'être questionné ou modifié par un savoir qui change. Cela ne nous confère pas le droit d'ignorer le savoir que nous avons déjà, ni celui de différer une action que celui-ci semble requérir à un certain moment. »*

Sir Austin Bradford Hill,  
The environment and disease :  
Association or causation ? 1965

## INTRODUCTION

*« Les conclusions des rapports récents dressant l'état des connaissances sur les risques pour la santé liés à l'usage des téléphones mobiles et à leurs équipements justifient-elles une adaptation des règles de gestion des risques adoptées récemment par les instances françaises et européennes ? ».* Telle est, en substance, la question centrale posée au groupe d'experts réuni par la Direction générale de la santé.

Les champs électromagnétiques associés à la téléphonie mobile s'inscrivent dans un environnement physique déjà très largement marqué par cette gamme de fréquences électromagnétiques, les radio-fréquences (RF, de 30 kHz à 300 GHz), tant dans l'environnement domiciliaire (cuisson à micro-ondes, ondes radio ou télévision), l'environnement professionnel (systèmes de chauffage industriels, équipements de diathermie médicale...), que dans l'espace public (émetteurs radio ou télévision, radars, communications entre personnels de sécurité ou taxis, systèmes antivols ou de télécommandes ...), particulièrement en milieu urbain. La gamme de fréquence exploitée pour la téléphonie mobile se situe, selon les opérateurs et les technologies, entre 850 et 1900 MHz, et s'étendra jusqu'à 2200 MHz, avec le développement de la nouvelle technologie UMTS, et dans la bande 400 MHz avec le système TETRA en cours de développement. Deux traits donnent un caractère particulier aux RF associées à la téléphonie mobile, suscitant une interrogation légitime du public : pour les téléphones mobiles, c'est la proximité immédiate de l'antenne et du crâne, lors de la conversation ; pour les stations de base, c'est la multiplication des antennes relais dans notre environnement proche. L'explosion du nombre d'utilisateurs nécessite l'installation d'un nombre croissant de cellules, surtout en milieu urbain dense, afin de garantir une couverture optimale dans un environnement riche en obstacles physiques. En toiture, sur pylône, pour les 'macrocellules', ou installées en façade d'immeuble, voire à l'intérieur de locaux ou d'espaces publics, pour les 'micro' ou 'picocellules', les antennes sont ainsi des repères visibles. Au 28 décembre 2000, 29 416 stations de base étaient installées sur le territoire (antennes de macrocellules, de micro et de picocellules). Au cours des trois derniers mois de l'année 2000, plus de 1664 nouvelles stations ont été installées et 589 ont été modifiées ; 403 ont été abandonnées.

Le développement des télécommunications a été suivi par celui de la recherche sur les effets des champs électromagnétiques radiofréquences sur les systèmes biologiques. Les premiers travaux ont débuté après la deuxième guerre mondiale. Depuis, la littérature scientifique est restée abondante. Relancée aux Etats-Unis, puis dans le monde entier, par l'écho médiatique d'une procédure judiciaire engagée en 1992 par un citoyen accusant les RF d'être responsables du cancer du cerveau dont sa femme est décédée, la recherche s'est particulièrement intéressée à ce type de pathologie, et a exploré les mécanismes biologiques qui pourraient relier l'exposition à ces champs des cellules humaines, au développement des processus de cancérogenèse. L'expérimentation animale ou sur cellules isolées a produit de nombreux résultats, publiés dans une littérature scientifique riche et diversifiée. Le recul est encore limité, cependant, pour apprécier d'éventuels effets à long terme. Quelques auteurs ont rapporté un lien possible entre certaines formes de cancers du cerveau et l'usage d'un téléphone mobile, alors que des publications très récentes montrent le contraire ; tous recommandent la poursuite

de tels travaux avant de conclure sur des manifestations dont on sait, comme pour les substances chimiques et les rayonnements ionisants, qu'elles n'apparaissent qu'après de nombreuses années d'exposition. Les phénomènes physiques et biologiques fort complexes qui opèrent appellent la mise au point de procédures d'expérimentation, de mesure et d'observation, qui n'avaient pas toujours, dans les premiers travaux, été parfaitement contrôlées. La nécessaire réplication des résultats, tout particulièrement par la réalisation des plans d'expérience et d'étude dans les mêmes conditions, en est rendue plus délicate. D'où, malgré le volume important des travaux scientifiques, la difficulté à dégager encore aujourd'hui des conclusions claires. Des modifications, à court terme, de certains paramètres physiologiques ou biochimiques, ou encore de fonctions neuro-sensorielles fines, sont mises en évidence ou suggérées dans certains travaux, alors que d'autres contredisent certains de ces résultats. La signification de ces observations pour prédire la survenue d'effets à long terme est, de toute façon, sujette à des discussions.

Cette situation de débat scientifique n'étonne pas le spécialiste familier de l'étude des risques liés à l'environnement, qui sait combien la démonstration de la nocivité d'une substance chimique ou d'un agent physique ou microbiologique peut être difficile, dans les conditions d'exposition de la vie courante. Mais cette difficulté à trancher préoccupe naturellement le public. N'est-ce pas précisément dans cette situation d'incertitude sur des risques de conséquences graves qu'il faut recourir au 'principe de précaution' ? Sans doute, si les éléments scientifiques relatifs à de possibles effets « graves et irréversibles » sont suffisants pour établir un « doute raisonnable »; mais alors, où situer le curseur de la précaution ? Sur quels caractères de l'exposition aux RF peser ? La pression du public et des médias se focalise sur les antennes des stations de base, alors que le champ reçu est beaucoup plus faible que lors d'une conversation avec l'aide d'un téléphone mobile.

L'interrogation sur la réalité de risques pour la santé résultant de l'exposition aux -RF revêt une dimension particulière, alors que déjà près de 30 millions de personnes sont des usagers des téléphones mobiles en France (29.681.300 abonnés au 31 décembre 2000), et que le marché prévisible s'élève à plus de 44 millions dans 4 ans. Ce phénomène est planétaire, avec aussi plus de 27 millions d'utilisateurs en Grande Bretagne, de l'ordre de 80 millions aux Etats-Unis, par exemple. Un risque, aussi faible soit-il au plan individuel, pèserait alors d'un poids très lourd en termes de santé publique, du fait même de cette étendue de l'exposition. La quête d'une réponse à cette interrogation est donc pressante. Mais le nombre de personnes concernées ne suffit pas à établir une menace, si les RF ne sont pas dangereuses, dans les conditions actuelles d'exposition. Réponse pressante, mais réponse conditionnée donc à l'état d'avancement des connaissances. Car la téléphonie mobile est aussi un facteur de sécurité sanitaire. La rapidité des alertes en cas d'accidents, de feux ou d'autres dangers, et l'efficacité des secours, sont considérablement améliorées par la large diffusion de cette technologie qui a déjà sauvé de nombreuses vies dans le monde.

Par son champ de compétence, le groupe d'experts réuni par la Direction générale de la santé n'a pas à considérer les autres aspects du développement de cette technologie de communication, dans le registre de la vie économique ou de la facilitation des échanges entre personnes, mais les instances autorisées, au plan national ou international, seront sans doute soucieuses aussi de ces dimensions. La gestion des risques, s'ils sont avérés ou solidement suspectés, s'inscrit ainsi dans une balance des risques et avantages, car aucune technologie qui serait susceptible d'induire un risque, si faible soit-il, ne saurait trouver justification si elle n'apportait pas des avantages substantiels.

Cette appréciation de la balance des risques et avantages n'est pas dans la mission confiée au groupe d'experts qui, elle, relève de *l'évaluation des risques*; elle concerne l'usage des téléphones mobiles et de leurs équipements. Ne seront pas considérés les travaux scientifiques relatifs aux champs de faible ou extrêmement faible fréquence ; ceux relatifs aux autres technologies utilisant les radiofréquences : radio, télévision, radars... ne seront évoqués que comme traçant des voies sur les effets sanitaires devant être explorés.

Plusieurs instances scientifiques ont produit, au cours de la période récente, des rapports visant à appréhender l'état des connaissances sur les effets biologiques et sanitaires des RF. Réunissant

pendant plusieurs mois de nombreux experts de très haut niveau dans les diverses disciplines scientifiques concernées, certaines de ces instances ont rassemblé et synthétisé l'ensemble des travaux scientifiques disponibles alors. C'est le cas, parmi d'autres, des volumineux documents de la commission réunie autour du Professeur W. Stewart en Grande Bretagne (mai 2000) ou de la 'Société Royale' du Canada (mars 1999). Le groupe d'experts s'est appuyé sur ces documents, et maints autres - dont la liste est présentée en annexe – pour répondre à la mission qui lui a été confiée. Il a veillé aussi à actualiser ce corpus de connaissance, en prenant en considération les travaux publiés postérieurement à l'achèvement du travail de ces commissions, et ce jusqu'à la rédaction de son propre rapport. Il a enfin sollicité l'avis de diverses personnalités des milieux scientifiques, administratifs, industriels, associatif et politique, à la fois pour compléter ses informations et pour comprendre plus pleinement les préoccupations qui parcourent le corps social sur le sujet.

En conduisant cette mission d'évaluation, le groupe d'experts s'est fixé un double objectif :

(1) délimiter les domaines pour lesquels existent des données scientifiques convaincantes de l'existence ou, *a contrario*, de l'inexistence de conséquences biologiques et sanitaires de l'exposition aux RF liée à l'usage des téléphones mobiles et au fonctionnement de leurs stations de base (ce que l'on sait), et

(2) souligner les domaines pour lesquels les données scientifiques actuelles ne permettent pas d'exclure des effets biologiques et sanitaires, sans pour autant autoriser l'affirmation de leur existence (ce qui demeure incertain).

Sur ces bases, des recommandations de recherche sont formulées, visant à réduire les incertitudes qui persistent à l'heure actuelle, sur les sujets jugés prioritaires. Enfin, des préconisations sont avancées, qui ont pour objet d'assurer aux utilisateurs et au public le plus haut niveau de protection de la santé qui apparaît justifié par les données scientifiques actuelles, et à encourager les industriels et opérateurs, ainsi que, pour ce qui les concerne, les utilisateurs, à réduire les niveaux d'exposition autant que possible.

Le groupe d'experts souligne qu'il a pu mener à bien son travail en toute indépendance, tant par rapport aux acteurs industriels, que vis à vis des pouvoirs publics, la Direction générale de la santé ayant apporté un appui efficace et effacé à l'accomplissement de cette mission.

## **LA DEMARCHE SUIVIE PAR LE GROUPE D'EXPERTS**

### **1- La nécessaire expertise collective de la littérature scientifique**

Les connaissances scientifiques sont par nature imparfaites et évolutives, selon les avancées de la science et des technologies. S'agissant de niveaux d'exposition à des facteurs d'environnement – ici les champs électromagnétiques de radiofréquence et de fréquences associées - qui peuvent être qualifiés de 'faibles', les effets biologiques et sanitaires qui peuvent se produire sont souvent d'intensité modeste et d'expression variée selon les personnes et les circonstances, tandis que certains de ces effets peuvent n'apparaître qu'après plusieurs années. Ces traits, qui caractérisent nombre de problématiques dans le domaine des relations entre l'environnement et la santé, peuvent conduire à la publication de travaux scientifiques apparemment discordants, ou non concluants, à un moment donné de l'histoire de la connaissance.

Dans ce contexte, l'exercice de synthèse des connaissances destiné à dégager le sens général et formuler les recommandations destinées à gérer les risques éventuellement mis en évidence, est délicat. Cet exercice est ce qu'il est convenu d'appeler « l'expertise », c'est-à-dire l'art de traduire les données scientifiques du moment en guides pour l'action et l'information. Ce travail ne peut être que collectif. Il doit répondre à des critères qui, comme pour les travaux scientifiques 'princeps' sur lesquels il s'exerce, en assurent la qualité et fondent sa fiabilité.

Le lecteur soucieux de comprendre la démarche scientifique percevra cette difficulté à dégager un message clair, en présence de résultats inconstants et en nombre limité, au travers de deux exemples, exposés en annexe, issus d'études épidémiologiques s'intéressant au risque de cancer du cerveau après exposition aux RF. Le cancer du cerveau est l'un des domaines morbides qui focalise le plus la recherche et l'émoi public. Ici, deux études importantes ont pu être interprétées ou présentées dans différents documents récents produits par des individus ou des groupes d'experts, de manière fort contrastée, voire opposée, comme l'illustrent les citations et commentaires qu'elles ont inspirés. S'il est aujourd'hui bien reconnu dans la communauté scientifique – ce n'est pas encore le cas dans tous les milieux – qu'une étude isolée ne peut en aucun cas être brandie comme démontrant ou infirmant définitivement un phénomène physique ou biologique complexe, ces exemples montrent aussi combien rigoureuse doit être la démarche suivie pour analyser et interpréter les résultats d'un travail scientifique, même dans le cadre d'une expertise collective. La littérature épidémiologique est particulièrement sujette à ces biais d'interprétation, en raison même du caractère toujours multifactoriel des phénomènes biologiques et sanitaires observés. On aurait tort de considérer que l'approche expérimentale est exempte des mêmes difficultés, notamment par la grande sensibilité des résultats aux conditions de la mesure. Cet état de fait est sans doute regrettable, mais il est réel et généralisé. Aussi, chacun comprendra l'importance du caractère collectif et explicite du travail de lecture critique et de synthèse de l'ensemble de la littérature scientifique disponible à un moment donné sur un sujet scientifique complexe non encore stabilisé.

## **2- Effets biologiques et effets sanitaires**

Les résultats des travaux scientifiques sur lesquels s'appuie l'expertise doivent donc être analysés avec un regard critique et panoramique, englobant, comme on le verra, l'ensemble des données disponibles à un moment donné. Il est aussi nécessaire de porter un jugement sur l'interprétation que l'on peut donner aux divers 'effets biologiques' observés suite à l'exposition aux champs électromagnétique radiofréquence, en termes de risque pour la santé. Adoptant le point de vue de diverses instances internationales sur le sujet<sup>1</sup>, le groupe d'experts appelle '*effets biologiques*' des changements d'ordre physiologique, biochimique ou comportemental qui sont induits dans un organisme, un tissu ou une cellule en réponse à une stimulation extérieure. Tout effet biologique ne représente pas une menace pour la santé de la personne ; il peut manifester simplement la réponse adaptative normale de la cellule, du tissu ou de l'organisme à cette stimulation. Un '*effet sanitaire*' est un effet biologique qui peut mettre en danger le fonctionnement normal d'un organisme, en ce qu'il sort du cadre des réponses 'physiologiques' à l'action de l'agent extérieur. La distinction est importante et peut être aisément comprise. Ainsi, nul ne confondra le fait d'entendre un son (le chant enchanteur du rossignol ou le bruit dérangeant des bennes à ordures au petit jour), qui manifeste un effet biologique (lequel résulte d'une chaîne complexe d'effets biologiques élémentaires : mécaniques, biochimiques et électriques), d'une part, et la perte progressive (parfois brutale) de l'acuité auditive après une exposition prolongée à des bruits d'intensité élevée, telle qu'elle peut être mesurée chez des jeunes adeptes de salles de musique aux amplificateurs surdimensionnés ou chez un ouvrier chaudronnier après des années de martèlement sans protection : cette perte est un effet sanitaire grave. De même, beaucoup de personnes apprécient les effets biologiques induits par l'exposition modérée au soleil, laquelle entraîne un bronzage par augmentation de la production de pigments (la mélanine) par des cellules spécialisées de la peau, mais ils font clairement la différence d'avec les brûlures douloureuses consécutives à une exposition trop rapide à un niveau excessif de rayonnement UV, sans protection cutanée, ou encore d'avec l'induction d'un mélanome, effets sanitaires qui menacent sérieusement la santé des partisans du bronzage prolongé et intense.

La durée ou l'intensité de l'exposition à l'agent occasionnant l'effet biologique, la nature de la cellule, du tissu ou de l'organisme où celui-ci se manifeste, ainsi que d'autres caractères non tous

---

<sup>1</sup> voir par exemple le rapport de la Société Royale du Canada de mars 1999 (p15) ou le document introductif du programme EMF de l'OMS (à consulter sur le site internet [www.who.int/peh-emf](http://www.who.int/peh-emf))

élucidés, déterminent pour une part importante le lien (ou l'absence de lien) qui peut exister avec un possible effet sanitaire. Une vaste gamme de mesures biologiques ou fonctionnelles sont effectuées dans le cadre de l'étude des effets de l'exposition aux RF; certaines manifestent des effets biologiques, selon la définition donnée plus haut. Il reste à déterminer ceux qui peuvent être *prédictifs d'un effet sanitaire*. Ce sont ces effets biologiques qui sont motifs à préoccupation et qui, s'ils sont avérés, devraient faire l'objet de dispositions visant à empêcher leur apparition. La mise en évidence de tels '*effets biologiques menaçants*' n'est pas évidente. Ils doivent en premier lieu précéder régulièrement la survenue des troubles sanitaires redoutés, ou leur être associés. Ils peuvent aussi s'inscrire comme étape dans la chaîne des effets biologiques conduisant à ces troubles, chez l'espèce humaine ou seulement chez certains de ses représentants (sujets fragiles...) ou, à défaut, chez plusieurs autres espèces animales de laboratoire. Un exemple illustrant cette interrogation, dans le cas des effets non thermiques des RF est celui de l'augmentation, fréquemment décrite, de l'activité biochimique de l'enzyme ornithine décarboxylase, enzyme qui pourrait jouer un rôle dans le développement de cellules cancéreuses. Ce point sera traité en détail plus loin.

### **3- Faut-il appliquer le principe de précaution en matière de RF et de santé ?**

L'aide mémoire n° 193 de l'Organisation Mondiale de la Santé publié le 28 juin 2000 indique : « Il est clairement établi que tous les effets *prouvés* [soulignés par nous] de l'exposition aux radiofréquences sont en relation avec cet échauffement [dû aux effets thermiques des RF, NDLR] ». Cette affirmation est inspirée par les mêmes principes que ceux suivis par la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements non Ionisants (CIPRNI, ou ICNIRP en anglais), organisme scientifique indépendant dont les recommandations de 1998 sont assises sur les seuls *effets établis* par les données scientifiques disponibles (voir chapitre III). De même, la recommandation du Conseil de l'Union Européenne du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques stipule que « seuls les effets avérés ont été retenus pour fonder la limitation d'exposition recommandée ». Mais qu'en est-il des effets, encore incertains, qui font l'objet actuellement de recherches scientifiques nombreuses, et qui, selon certaines hypothèses, pourraient résulter de mécanismes non thermiques ? Doit-on attendre qu'ils soient prouvés ou, au contraire, formellement réfutés pour prendre des décisions relatives à la gestion de ces risques hypothétiques ? Ainsi peut s'exprimer la question posée aux acteurs, industriels et politiques, concernés par les effets des RF.

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

Cette séparation entre 'science objective' et 'gestion politique' peut cependant se révéler, en pratique, quelque peu théorique et formelle. Face à des faits scientifiques incertains, l'exercice de synthèse des connaissances conduit la communauté scientifique à établir des critères de jugement sur l'existence ou l'absence de lien entre l'exposition à l'agent étudié et l'effet biologique ou sanitaire considéré. Ces critères, pour objectifs qu'ils soient, ne sont pas toujours totalement exempts de considérations extra-scientifiques. Qu'est-ce qui constitue une 'évidence' scientifique ? Quel est le degré de preuve exigible pour retenir (ou réfuter) l'hypothèse de causalité ? Soucieux de protéger la santé, le scientifique intègre des éléments de prudence dans ces critères. Mais on comprend que lorsqu'il est amené à appréhender cette 'évidence', il doive s'efforcer de s'affranchir de prendre en considération la nature (grave et irréversible, ou au contraire, bénigne et sans lendemain) de l'effet sanitaire considéré, sous peine de biaiser son jugement. L'exercice collectif est précieux pour y parvenir, ce n'est pas pour autant une garantie absolue.

En revanche, 'le décideur' se doit de prendre en compte la nature des effets sanitaires en jeu, ainsi que le nombre des personnes exposées dans la population (aujourd'hui et dans un avenir prévisible); de même, l'exercice de ses responsabilités l'amène à considérer l'existence et les coûts des solutions qui s'offrent pour réduire les expositions de la population. Dans un contexte où l'usage de la téléphonie mobile concerne déjà des millions de personnes en France, et ne cesse de croître, alors qu'il est déjà offert aux familles comme un moyen de rester en contact étroit avec leurs enfants, le principe 'du moindre remords' se présente avec une acuité particulière. Il implique une appréciation de la balance, d'une part des risques liés au développement d'une technologie s'il s'avérait, demain, qu'elle peut avoir des effets sanitaires déplorables, et d'autre part des dommages (y compris sanitaires, comme le rappelle la recommandation du Conseil de l'Union Européenne du 12 juillet 1999) qui pourraient résulter de restrictions injustifiées opposées à son développement. Aussi, dans un document de travail, l'Organisation Mondiale de la Santé<sup>2</sup> met-elle en garde les autorités sanitaires contre l'adoption de mesures, inspirées par le souci légitime de rassurer une opinion publique et de prévenir d'hypothétiques conséquences sanitaires, qui ne seraient pas scientifiquement fondées. Le risque est grand, en effet, que les pressions inégales des opinions publiques ne conduisent les Etats à édicter des 'normes de sécurité' disparates qui ruinerait tout effort d'harmonisation internationale. Le désarroi et les craintes du public ne peuvent qu'en être artificiellement gonflés, sans compter les conflits assurés pour 'règles arbitraires et concurrence déloyale ou entrave aux échanges commerciaux'.

Le principe de précaution ne peut donc justifier des mesures qui n'auraient pas de fondement rationnel. Ainsi, la mise en évidence d'effets biologiques menaçants, s'ils existent, obligerait certainement à agir pour en prévenir les conséquences, mais cela ne suffirait pas pour autant à fonder rationnellement une démarche efficace si les paramètres physiques sur lesquels agir restaient incompris. L'exposition aux RF, liée à l'énergie absorbée par le corps, dépend d'un grand nombre de facteurs, tels que l'intensité du champ (qui est elle-même fonction de la position de l'appareil par rapport aux stations de base, de la position et du type d'antenne), les caractères de la modulation de ce champ - qui permet de véhiculer les informations -, la durée de l'exposition (elle est longue au voisinage des stations de base, mais à très faible intensité, et intermittente pour le téléphone mobile, mais à plus forte intensité, d'ailleurs variable dans le temps dans les deux cas). Ainsi, par exemple, une action apparemment 'de bon sens' (comme installer une protection physique autour de l'antenne du mobile pour 'protéger' la tête) est contre-productive, car elle entraîne l'augmentation de l'intensité du champ par l'action du contrôle automatique de puissance du mobile, afin de compenser la plus faible performance de la réception. Il existe donc de nombreuses manières de réduire l'exposition aux RF, mais si des risques pour la santé étaient établis ou fortement suspectés, il faudrait agir spécifiquement sur les paramètres physiques responsables de l'altération du fonctionnement des cellules ou des tissus, paramètres, qui ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux qui permettent la communication entre les personnes.

Dans son texte sur le recours au principe de précaution<sup>3</sup>, la Commission des Communautés Européennes propose certains repères de nature à « trouver l'équilibre adéquat permettant de prendre des décisions proportionnées, non discriminatoires, transparentes et cohérentes ... (par) ... un processus de prise de décision structuré, fondé sur des données scientifiques détaillées et autres informations objectives ». Elle rappelle que « le principe de précaution, que les décideurs utilisent essentiellement dans le cadre de la gestion du risque, ne doit pas être confondu avec l'élément de prudence que les scientifiques appliquent dans l'évaluation des données scientifiques ». Parmi ces repères, est particulièrement pertinent dans le cas présent, le souci de faire en sorte que les mesures mises en œuvre selon le principe de précaution soient :

- *proportionnées* au niveau de protection recherché (et donc au niveau de risque à éviter);
- *cohérentes* avec des mesures similaires déjà adoptées dans des domaines comparables;

---

<sup>2</sup> Draft Fact Sheet for Final Review. Electromagnetic fields and public health cautionary policies. (6 juillet 2000) ; document consultable sur le site <http://www.who.int/peh-emf/>

<sup>3</sup> Communication de la Commission sur le recours au principe de précaution, 2 février 2000

- *basées sur un examen des avantages et des charges potentiels* de l'action ou de l'absence d'actions;
- *réexaminées périodiquement* à la lumière des nouvelles données scientifiques.

Le groupe d'experts est questionné sur la réalité d'effets biologiques menaçants ou d'effets sanitaires résultant de l'exposition aux RF associés à la téléphonie mobile. Instance à caractère scientifique, il n'a pas vocation à arrêter *l'importance de la marge de sécurité* qu'il conviendrait de prendre, si de tels effets étaient aujourd'hui avérés ou seulement sérieusement suspectés, au vu des données actuelles, pour parvenir à un risque défini comme 'acceptable'. Cette mission relève clairement du jugement politique, légitimé par un débat public sur ces questions. En revanche, le groupe d'experts devra dire si l'état des connaissances justifie la réduction des expositions des utilisateurs de téléphones mobiles ou du public fréquentant des lieux dans le champ de leurs stations de base; il pourra, dans ce cas, faire des recommandations scientifiquement fondées sur les manières de réduire les expositions. Dans l'énoncé de son avis, il aura à indiquer si, malgré les incertitudes qui pourraient subsister, les faits lui paraissent suffisamment étayés et sérieux, sur le plan sanitaire, pour qu'une approche de précaution soit adoptée. Il exposera les voies de recherche à privilégier en vue de lever ces incertitudes. On voit donc que la relation entre 'l'expert' et le 'décideur' est fondée sur l'accomplissement de missions distinctes et entrelacées.

Si le principe de précaution est un principe de gestion prudente de risques incertains qui engage l'action des pouvoirs publics, et qui peut se manifester par une vaste gamme de mesures plus ou moins contraignantes – par exemple à caractère réglementaire, administratif, informatif etc. - dont le 'dosage' définit une politique publique, diverses mesures de réduction des expositions peuvent être mises en œuvre par les acteurs industriels, mais aussi par les individus eux mêmes. Le concept « *d'évitement prudent* » peut se définir ici comme l'ensemble des dispositions volontaires que les personnes privées peuvent prendre pour limiter autant que possible des expositions inutiles et/ou facilement évitables. Par exemple, téléphoner dans des conditions de médiocre communication (tel que dans certains espaces clos), conduit à accroître de manière très substantielle le rayonnement reçu. Le savoir et disposer de moyens concrets de s'en rendre compte, permet à chacun d'agir en conséquence de manière éclairée et responsable. Le groupe d'experts a ainsi considéré un ensemble de dispositions, obligatoires, incitatives ou volontaires, propre à contribuer à la réduction de l'exposition des personnes. Après avoir justifié ses recommandations, il énumérera celles qu'il a retenues comme les plus appropriées au regard de l'état actuel des connaissances sur les risques.

#### **4- Critères de sélection et méthode d'analyse des rapports et documents récents concernant les téléphones mobiles et la santé**

Les règles de base des 'bonnes pratiques de l'expertise' font l'objet d'un certain consensus au plan international, et le groupe d'experts s'en est inspiré<sup>4</sup>. Le collectif rassemblé pour conduire le travail doit être composite, tant par la diversité des spécialités scientifiques de ses membres, en regard de la complexité du sujet considéré, que par les avis que ces experts ont pu exprimer sur le sujet. Tous les points de vue sur la question doivent pouvoir s'exprimer, y compris d'éventuels avis divergents, soit au sein du groupe d'experts constitué, soit lors d'auditions ou d'autres formes de communication. Cette exigence de pluralité, confortée par la transparence sur d'éventuels conflits d'intérêts qui pourraient exister au sein du groupe<sup>5</sup>, vise à assurer que l'avis final du collectif sera non biaisé.

<sup>4</sup> Voir par exemple « Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment », OMS-Euro, Copenhague, 2000

<sup>5</sup> Tous les membres du groupe d'experts ont rempli une notice d'information par laquelle, à l'instar des experts missionnés par d'autres agences de sécurité sanitaire, comme l'AFSSAPS, ils ont déclaré les travaux scientifiques réalisés en collaboration ou avec des financements d'entreprises impliquées dans le développement de la téléphonie mobile, ainsi que la propriété d'intérêts économiques dans de telles entreprises.

Les critères ayant présidé à la sélection du matériau scientifique passé en revue doivent être explicites. Ainsi, le groupe d'experts a sélectionné 5 rapports de synthèse rédigés par des comités d'experts et répondant aux caractères suivants :

- les comités d'experts ont réuni des scientifiques issus de disciplines variées concernées par les RF, avec éventuellement des spécialistes de disciplines non directement concernées par les RF, et ont produit leur rapport à destination d'autorités sanitaires nationales ou internationales ;
- la revue de l'évidence scientifique à laquelle se sont livrés les comités d'experts s'est appuyée sur des publications dans des revues scientifiques à comité de lecture ('peer-reviewed' selon la terminologie anglaise – cf infra), avec un objectif d'exhaustivité à la date de l'expertise ;
- les critères des jugements portés par les comités d'expert sur la littérature analysée sont explicites ;
- ces rapports ont été publiés depuis 1996 (date du rapport McKinlay pour l'Union Européenne), considérant que c'est à partir de cette époque que des données scientifiques en nombre suffisant ont été publiées sur les effets biologiques et sanitaires des -RF.

Le groupe d'experts a fait le choix de ne retenir que des rapports de synthèse s'appuyant sur des articles publiés (ou acceptés pour publication) dans des revues scientifiques à comité de lecture, car cette règle assure que les travaux en question sont passés au crible de la critique de spécialistes du même sujet, extérieurs aux projets. Sans être une garantie absolue de qualité et, encore moins, de vérité, cette règle, communément admise dans les diverses instances d'expertise au plan international, permet de fonder l'exercice de synthèse sur une information de base répondant à une exigence de qualité minimum, en évitant les documents fantaisistes ou purement anecdotiques et en limitant le nombre de travaux non validés. On ne voit pas, en effet, de quelle vertu supérieure pourraient se prévaloir les travaux qui auraient été refusés de publication par les (nombreuses) revues disponibles sur le marché de la presse scientifique, ou qui auraient jugé inutile de se soumettre à ce regard extérieur. Malgré les délais que ces procédures de 'relecture par des pairs' occasionnent (jusqu'à un an, parfois), les sujets traités dans ce rapport sont, pour la grande majorité, étudiés depuis suffisamment longtemps pour que cela n'obère pas la possibilité, pour le groupe d'experts, de disposer de publications traitant des sujets qu'il a à considérer. Sauf pour les travaux récemment publiés, le groupe d'experts n'a pas jugé nécessaire, ni possible dans le temps qui lui a été imparti pour rédiger son avis, de retourner à chacun des centaines d'articles qui ont été analysés en détail par les rapports de synthèse qu'il a étudiés. Certains travaux récents particulièrement novateurs peuvent, néanmoins, déroger à cette règle; ils sont, dans le rapport, considérés au cas par cas et clairement justifiés. Chacun des rapports de synthèse 'de base' fait l'objet d'une analyse critique détaillée par le groupe d'experts, qui ensuite émettra un avis sur la pertinence scientifique des conclusions de chaque rapport.

Ce rapport présente les analyses critiques des tous les rapports de base, selon un plan commun. Afin d'en faciliter la lecture puis la synthèse, ce plan suit, de manière systématique, les divers systèmes ou entités morbides étudiés dans le rapport de synthèse dirigé par William Stewart, le plus récent (mai 2000). Dans la mesure du possible, le lecteur retrouvera successivement les études concernant le système nerveux et les comportements, celles concernant le cancer, la reproduction et le développement, le système cardio-vasculaire, les systèmes immunitaire et sanguin, d'autres troubles divers éventuellement étudiés, les interférences avec les implants biomédicaux, et enfin les risques liés à la conduite automobile avec un téléphone mobile avec ou sans système mains libres. Pour chaque thème traité, les conclusions des auteurs du rapport de synthèse sont rappelées en préambule, de manière identifiable, suivies d'une courte présentation des principaux travaux qui les ont justifiées. Le jugement porté par le groupe d'experts sur cette synthèse est explicité à la fin de chaque thème. A la fin du chapitre consacré à un rapport donné, une synthèse de l'avis du groupe d'experts est exposée.

En plus de ces 'rapports de base', un certain nombre de 'documents additionnels' ont été pris en considération, ne répondant pas aux critères précédents, mais apportant d'autres informations intéressantes (cf. liste en annexe) ; les points de ces documents qui avaient été non, insuffisamment ou différemment couverts dans les rapports de base ont été mis en lumière.

Le groupe d'experts s'est attaché aussi à rassembler l'ensemble de la littérature scientifique la plus récente, publiée postérieurement à la publication du rapport de synthèse le plus récent ; à cet effet, outre l'habituel exercice de veille bibliographique au moyen des bases de données informatisées, il s'est adressé aux éditeurs des principales revues scientifiques susceptibles d'accueillir des articles concernant le sujet (une quarantaine de revues ont été identifiées, sur la base des articles publiés au cours des années passées), en leur demandant de bien vouloir lui faire connaître tout article accepté pour publication (donc ayant bénéficié d'une lecture critique favorable par des pairs), et destiné à être publié d'ici à la fin de l'année 2000 ; de nombreux éditeurs ont répondu (cf la liste en annexe des revues sollicitées et ayant répondu). Le groupe d'experts a rajouté ces articles originaux récents à la liste des documents additionnels étudiés pour, *in fine*, permettre au groupe d'experts de porter un jugement d'ensemble sur la totalité du matériel scientifique à sa disposition.

Il a enfin sollicité l'avis de diverses personnalités des milieux scientifiques, administratifs, industriels, associatif et politique, à la fois pour compléter ses informations, sur différents aspects peu couverts dans la littérature scientifique, et pour comprendre plus pleinement les préoccupations qui parcourent le corps social sur le sujet.

La transparence s'applique aussi aux critères qui ont conduit le collectif à porter un jugement sur l'état des connaissances, pour que des tiers puissent critiquer, le cas échéant, les choix et les outils de jugement adoptés. Pour éclairer les critères retenus par le groupe d'experts, il est utile de rappeler ici la principale question à laquelle il lui a été demandé de répondre : « Les rapports de synthèse récemment publiés apportent-ils des informations scientifiques fiables et complètes sur lesquels les autorités sanitaires françaises peuvent s'appuyer pour, s'il y a lieu, actualiser les principes et règles de gestion des risques liés à l'usage des téléphones mobiles et de leurs stations de base ? ». Le groupe d'experts a considéré que la réponse à cette question sous-entendait au préalable la réponse à trois sous-questions logiquement reliées :

- Quels sont les *effets biologiques* démontrés des RF ?
- Parmi ces effets biologiques, quels sont ceux qui peuvent être considérés comme raisonnablement prédictifs d'un *effet sanitaire*, en l'état actuel des connaissances ?
- Peut-on, en l'état actuel des connaissances, déterminer des niveaux et/ou conditions d'exposition aux RF qui réduiraient ou feraient disparaître ces éventuels *effets biologiques menaçants* ?

Pour prononcer ce « jugement d'expert sur l'expertise », la ligne directrice suivie a été celle énoncée il y a plus de 30 ans par le célèbre épidémiologiste britannique Bradford Hill : « Y a-t-il une autre manière d'expliquer les faits qui se présentent ? Y a-t-il une autre réponse, aussi ou plus vraisemblable, que celle d'une relation de cause à effet ?<sup>6</sup> ».

Les principaux critères de jugement retenus par le groupe d'experts pour apprécier la qualité du travail de synthèse des connaissances sont les suivants : le caractère *exhaustif* de la revue de la littérature qui a été réalisée (à la date du travail), la *pertinence de la critique* des articles sur lesquels repose l'avis formulé, le degré de *consistance* des différents résultats observés dans la littérature - ce qui implique d'attendre la réplication des observations avant de conclure sur leur réalité -, leur *cohérence* (ces résultats doivent s'inscrire dans une séquence logique sur la chaîne des mécanismes et/ou être retrouvés dans différentes espèces animales, y compris chez l'homme). On notera que les critères relatifs à la qualité intrinsèque des études publiées (protocole expérimental ou d'observation, analyse des données et prise en compte des facteurs interférents, mise en perspective avec les données scientifiques préexistantes...) ne sont pas dans cette liste, car ils sont déjà pris en compte, le plus souvent de manière explicite, dans les rapports de synthèse de la littérature qu'a analysés le groupe d'experts ; ces critères ont cependant été considérés pour les publications récentes publiées postérieurement aux rapports de synthèse.

---

<sup>6</sup> « Is there any other way of explaining the set of facts before us, is there any other answer equally, or more, likely than cause and effect ? » Hill, AB. The environment and disease : association or causation . Proceedings of the Royal Society of Medicine, 1965, 58 : 295-300

## II- RADIOFREQUENCES ET SANTE : ELEMENTS DE PHYSIQUE ET DE BIOLOGIE

La téléphonie mobile se développe depuis quelques années de façon considérable dans notre environnement. Elle utilise des champs électromagnétiques dans une gamme de fréquences définie : les radiofréquences (RF). Les radiofréquences ont également des applications :

- domestiques : fours micro-ondes,
- professionnelles : presses haute fréquence, soudure, radiocommunications
- grand public : badges de contrôle, d'identité ou de titres de transport,
- médicales diagnostiques (IRM : Imagerie par Résonance Magnétique) et thérapeutiques (physiothérapie, hyperthermie, etc. ...).

Afin de mieux évaluer les effets sur la santé qui pourraient résulter de ces radiofréquences, il est nécessaire de rappeler les bases physiques des champs électromagnétiques, les mécanismes d'interaction des radiofréquences avec les organismes vivants, les normes et le principe de fonctionnement de la téléphonie mobile.

### 1. Bases physiques des champs électromagnétiques

#### A - Définition d'un champ électromagnétique

Un champ électromagnétique est l'association d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui varient dans le temps et se propagent dans l'espace. Ces champs sont susceptibles de déplacer des charges électriques. Les champs électromagnétiques sont caractérisés par plusieurs propriétés physiques dont les principales sont leur fréquence ou leur longueur d'onde, leur intensité et leur puissance.

**Fréquence.** La fréquence d'un champ électromagnétique est le nombre de variations du champ par seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz) ou cycles par seconde, et s'étend de zéro à l'infini. Une classification simplifiée des fréquences est présentée ci-après, et quelques exemples d'applications dans chaque gamme sont indiqués.

Fréquence	Gamme	Exemples d'applications
0 Hz	Champs statiques	Electricité statique
50 Hz	Extrêmement basses fréquences (ELF)	Lignes électriques et courant domestique
20 kHz	Fréquences intermédiaires,	Ecrans vidéo, plaques à induction culinaires
88-107 MHz	Radiofréquences	Radiodiffusion FM
300 MHz – 3 GHz	Radiofréquences micro-ondes	Téléphonie mobile
	400 – 800 MHz	Téléphone analogique (Radiocom 2000), télévision
	900 MHz et 1800 MHz	GSM (standard européen)

Fréquence	Gamme	Exemples d'applications
	1900 MHz – 2,2 GHz	UMTS (standard téléphone-internet)
3 – 100 GHz	Radars	
$10^2$ - $10^5$ GHz	Infra-rouge	Détecteurs anti-vol, Telecommandes
$10^5$ – $10^6$ GHz = 0,8-0,4 microns ( $\mu$ )	Visible	Lumière, lasers
$0,4$ - $10^{-1}$ $\mu$	Ultra-violets	Soleil, photothérapie
$10^{-1}$ - $10^{-2}$ $\mu$	Rayons X	Radiologie
$10^{-2}$ $\mu$ et moins	Rayons gamma	Physique nucléaire

Les rayonnements X et gamma peuvent rompre les liaisons moléculaires et être à l'origine d'ionisations, facteur cancérigène. Les rayonnements ultra-violets, visibles et infra-rouges peuvent modifier les niveaux d'énergie au niveau des liaisons au sein des molécules. Les radiofréquences n'ont pas suffisamment d'énergie pour perturber les liaisons moléculaires.

**Intensité et puissance.** L'intensité d'un champ peut être exprimée à l'aide de différentes unités :

- pour le champ électrique, le volt par mètre (V/m)
- pour le champ magnétique, l'ampère par mètre (A/m) ou le tesla (T)  
 $1 \text{ A/m} = 1,27 \mu\text{T}$
- selon le rayonnement d'exposition, en densité surfacique de puissance (DSP, en  $\text{W/m}^2$ ). La DSP est proportionnelle au produit du champ électrique par le champ magnétique :

$$\text{DSP} = E \times H = E^2 / 377 = 377 \times H^2, \quad \text{ou encore : } E = \sqrt{377 \times \text{DSP}}$$

La puissance globale contenue dans un champ électromagnétique peut aussi s'exprimer en watts (W).

**Autres propriétés :**

- La polarisation : orientation du champ électrique dans le rayonnement
- La modulation : d'amplitude (AM),  
de fréquence (FM),  
par impulsions (PW),  
pas de modulation = émission continue (CW)

Lorsque l'émission est modulée, il faut différencier la puissance maximale, appelée puissance-crête, et la puissance moyenne résultant de la modulation. Par exemple, dans une émission radar avec des impulsions d'une durée de 1 ms toutes les secondes, la puissance moyenne est 1000 fois inférieure à la puissance-crête dans l'impulsion.

- L'uniformité du champ.

## **B - Mécanismes d'interaction des RF avec les systèmes biologiques**

Toute matière vivante contient des charges électriques (ions, molécules...) et des matériaux isolants ; c'est donc un milieu faiblement conducteur (appelé diélectrique). Quand le tissu est soumis à un champ RF, une partie du champ est réfléchi, et l'autre pénètre dans l'organisme. Le rayonnement produit par cette interaction doit être quantifié, car il peut être à l'origine d'effets biologiques. Certains facteurs peuvent influencer l'interaction :

1. les paramètres physiques d'émission
  - fréquence
  - puissance incidente (crête ou moyenne)
  - polarisation
  - modulation
  - uniformité du champ
  - proximité de l'émetteur
  - dimensions et nature de la chambre d'exposition
2. les paramètres physiques des systèmes biologiques
  - propriétés diélectriques des tissus
  - dimensions, forme, position et orientation du système biologique exposé, notamment par rapport à la longueur d'onde ; on différencie ainsi une exposition locale ou corps-entier
  - relations spatiales entre les organismes exposés
3. les facteurs de l'environnement
  - température
  - humidité

D'autres facteurs influencent l'effet biologique résultant :

1. les variables liées au test biologique
  - technique de prélèvement
  - ligne de base de la réponse
  - désordres métaboliques et fonctionnels
  - prédisposition génétiques
2. les variables expérimentales
  - procédures d'acclimatation
  - relation animal- chercheur
  - état et confinement des animaux (anesthésie, contention, ...)
  - période de l'exposition dans la journée
  - durée de l'exposition
  - nombre des expositions
  - temps écoulé entre exposition et prélèvement.

Dans les tissus, le champ électrique peut déplacer les charges libres comme les ions, ou orienter des molécules polarisées comme des acides aminés. Il induit de la part du milieu exposé, des forces de réaction proportionnelles à la viscosité de ce milieu. Une partie de l'énergie électromagnétique est ainsi transformée en chaleur (effet thermique).

Le champ qui pénètre à l'intérieur des tissus peut être calculé à l'aide de modèles électromagnétiques. La validité des calculs peut être confirmée par la mesure du champ dans des 'fantômes' contenant un milieu équivalent aux tissus biologiques. La dose d'énergie absorbée par transformation en chaleur est quantifiée par la puissance absorbée par unité de masse de matière

biologique exposée. Elle est définie par le débit d'absorption spécifique (DAS, ou SAR en anglais) et s'exprime en W/kg (cf. Annexe dosimétrie). Le niveau de champ correspondant à un DAS donné peut être calculé lorsqu'un organisme de caractéristiques déterminées se trouve exposé en entier et à une distance suffisante de la source appelée "champ lointain". Cette méthode, pertinente pour la caractérisation de l'exposition du public aux champs des stations de base, n'est pas facile à appliquer lorsque le système biologique exposé se trouve près de la source (condition dite « de champ proche »), ce qui est le cas lors de la communication avec un téléphone mobile. L'estimation de la puissance absorbée nécessite alors le recours à des méthodes de modélisation complexes.

## **2 - Effets biologiques des champs électromagnétiques radiofréquences**

### **A- Notion d'effets thermiques**

Dans le domaine des radiofréquences, les champs de forte intensité, comme ceux émis par un radar, induisent des effets thermiques manifestes.

**Accidents de surexposition par échauffement excessif.** Quelques rares accidents ont été provoqués par la mise en route inopinée d'un système d'émission ou par la déficience d'un système de sécurité. Le dégagement de chaleur qui résulte habituellement de telles expositions entraîne le plus souvent un réflexe de défense de l'organisme avec retrait de la partie exposée du corps hors du champ nocif. Cependant dans certains cas, le retrait n'a pas été possible et les personnes ont présenté des brûlures. Lorsque la tête était dans le champ d'exposition, des céphalées ont parfois été décrites.

**Expérimentations chez l'homme : mise en jeu des processus de thermorégulation au décours d'un effort.** Le métabolisme basal de l'homme au repos est de l'ordre de 1,5 W/kg. Au décours d'un effort modéré, il s'élève à 2,5 W/kg. Une exposition locale expérimentale à un DAS de 8 W/kg pendant 45 minutes chez des sujets au repos s'est traduite par des réactions physiologiques de thermorégulation : vascularisation cutanée augmentée sans sudation, avec maintien d'une température centrale stable. Lorsque l'exposition était précédée d'un effort modéré, la même exposition a provoqué une augmentation de vascularisation avec sudation [Adair, 2000]. Les effets d'une exposition donnée sont donc variables en fonction de l'état métabolique de l'individu.

**Expérimentations chez l'animal : perméabilité de la barrière hémato-encéphalique.** Des expériences ont été menées à différents niveaux d'exposition thermiques en utilisant successivement plusieurs molécules radio-marquées. Ces expérimentations ont démontré, d'une part, une élévation du volume sanguin cérébral, et, d'autre part, une modification de la captation pinocytaire variable selon la molécule concernée ; ces deux phénomènes sont en relation avec l'augmentation de la température corporelle. Les auteurs concluent que l'augmentation de la perméabilité de la barrière hématoencéphalique sous l'effet des micro-ondes est simplement liée à la variation de la température cérébrale [Baranski, 1973 ; Lin et Lin, 1980].

**Expérimentations chez l'animal : cataracte .** Des études animales ont montré qu'une cataracte pouvait être provoquée par une exposition d'une heure à une densité surfacique de puissance de 100 à 150 mW/cm<sup>2</sup> [Williams et al., 1955 ; Carpentier, 1960 ; Zaret et al., 1975]. Une telle intensité n'est jamais atteinte dans l'environnement public, et rarement en exposition professionnelle. Même au décours d'une surexposition, aucun cas de cataracte n'a été décrit chez l'homme.

**Remarque sur la thermostation<sup>7</sup> *in vitro*.** Dans certaines études, l'échauffement est prévenu par un système de refroidissement. Il n'y a donc pas d'élévation mesurable de température. Cependant, l'énergie absorbée dans les milieux exposés est considérable et on ne peut pas dire que l'exposition dans ces études soit « de faible intensité » [Maes et al., 1993].

## **B – Notion d'effets non thermiques**

**Stimulation auditive des micro-ondes.** Un effet spécifique aux radiofréquences est la perception auditive des micro-ondes émises par les radars ou "microwave hearing". Lorsque les micro-ondes arrivent au niveau du crâne, l'énergie absorbée est convertie en chaleur et produit une élévation de température, très rapide mais faible (10<sup>-6</sup> °C en 10 µs). Le gradient thermique génère une onde de pression thermo-élastique dans le tissu cérébral, qui se propage jusqu'à la cochlée où elle est détectée par les cellules de l'oreille interne [Rissman et Cain, 1975 ; Cain et Rissman, 1978 ; Chou et Guy, 1979 ; Lin, 1981 ; Chou et al., 1985]. Il s'agit donc là d'un effet « micro-thermique » obtenu avec une puissance moyenne faible ne conduisant pas à une élévation de la température globale du tissu. Avec les téléphones mobiles, l'énergie des impulsions est trop faible pour être à l'origine d'une stimulation auditive.

**Effets indirects : courants induits par l'intermédiaire d'une masse métallique exposée à un champ électrique.** Lorsqu'une masse métallique importante est soumise à un champ radiofréquence, elle peut se charger et provoquer lors du contact avec un individu des décharges électriques responsables de douleurs ou a minima de sensations désagréables, pouvant entraîner des accidents liés aux lâchers d'objets. Un individu qui toucherait un véhicule soumis à un champ d'exposition de 200 V/m entre 10 kHz et 300 MHz (radar), ressentirait de telles décharges [Chatterjee, 1986].

**Interactions avec les stimulateurs cardiaques.** Des interférences des radiofréquences avec les stimulateurs cardiaques sont théoriquement possibles. Il s'agit d'un problème de compatibilité électromagnétique<sup>8</sup>, compliqué par l'environnement biologique que constitue le corps du patient [Gagny, 1994]. De nombreuses expérimentations ont été effectuées avec les téléphones mobiles. Aucun effet n'a été observé lorsque les radiotéléphones étaient tenus à plus de 10 cm des stimulateurs. A une distance inférieure, des perturbations mineures de l'ECG ont pu être enregistrées avec quelques modèles de téléphones. Des filtres électroniques équipent aujourd'hui les nouveaux modèles de stimulateurs, les rendant insensibles aux champs des téléphones.

---

<sup>7</sup> Régulation de la température de la culture de cellules

<sup>8</sup> Etude des interférences entre les champs électromagnétiques et les systèmes électroniques

**Autres effets non thermiques.** En dehors des effets thermiques, d'autres effets ont été rapportés [Thuéry, 1989 ; de Seze et Veyret, 1996]. Ils sont au cœur du débat sur les effets sanitaires des RF. L'analyse des rapports de synthèse et de la littérature scientifique récente, dans le chapitre IV de ce rapport, est principalement consacrée à ces autres effets biologiques, qui ne sont évoqués ici que pour mémoire.

### **3 – La téléphonie mobile: aspects technologiques**

#### **A - Principe de la téléphonie mobile**

Le téléphone transforme la voix en champs radiofréquences qui se propagent par l'intermédiaire de l'antenne du téléphone jusqu'à une antenne relais (station de base). Le signal est ensuite transmis par le réseau filaire jusqu'au correspondant. Chaque antenne relais couvre une portion de territoire constituant une « cellule », d'où le nom de téléphonie cellulaire.

#### **B - Système GSM (Global System for Mobile communications)**

Les champs utilisés dans la téléphonie mobile sont standardisés selon différents systèmes en fonction des régions et des pays. En France, les 2 systèmes actuellement en place sont le système GSM 900, développé par les opérateurs Itineris et SFR, et le système GSM 1800, plus récent, développé par l'opérateur Bouygues Telecom.

Dans le système GSM 900, la fréquence porteuse est dans la gamme des 900 MHz. Elle s'étend de 872 à 960 MHz. Dans le système GSM 1800, la fréquence porteuse est dans la gamme des 1800 MHz. Elle s'étend de 1710 à 1875 MHz.

A l'intérieur de ces gammes, les antennes relais attribuent à chaque utilisateur une bande plus étroite de 0,2 MHz pour chaque communication (découpage fréquentiel). Cette bande est aléatoire et peut notamment être amenée à changer lorsque l'utilisateur se déplace ; sa communication est alors relayée d'une cellule à une autre. A l'intérieur de chaque bande utilisée de 0,2 MHz, il existe aussi un découpage temporel : l'information est émise par impulsions, à raison d'une impulsion de 576  $\mu$ s toutes les 4,6 ms (fréquence de répétition des impulsions : 217 Hz ; rapport cyclique de 1/8). Ceci permet que chaque bande étroite de fréquence soit utilisée à tour de rôle par 8 utilisateurs différents. La communication est ensuite "reconstituée", après décodage, le tout dans un temps suffisamment court pour qu'elle semble continue.

#### **C - Téléphones**

Les téléphones commercialisés fonctionnent en GSM 900, GSM 1800, ou les deux (téléphones bi-bandes). Certains sont même compatibles avec le système nord-américain (tri-bandes). Les modèles se différencient par leur autonomie, leur encombrement et leur poids. L'autonomie maximale, et le faible poids de la batterie seront permis par l'utilisation de la plus faible quantité d'énergie possible pour les communications, donc par une puissance d'émission minimale.

La puissance d'émission des téléphones est limitée à 2W au maximum pour le GSM 900 et 1 W maximum pour le système GSM 1800. L'émission par impulsions permet de diviser par 8 la puissance moyenne émise, soit 0,25 W pour le GSM 900 et 0,125 W pour le système GSM 1800. Cette puissance d'émission est de plus régulée en fonction de la distance à l'antenne relais : elle est inversement proportionnelle à la qualité de la communication (250 mW à plusieurs kilomètres de l'antenne, 10 mW à proximité).

Le champ émis par un téléphone à puissance maximale à 2-3 centimètres est de l'ordre de 400 V/m. Il décroît très rapidement avec la distance.

### Interaction téléphone - utilisateur

La part de la puissance absorbée dans la tête est environ de 40% de la puissance émise (au maximum 100 mW pour le GSM 900). Sur une tête de 3 kg, le DAS correspondant est en moyenne de l'ordre de 30 mW/kg. Cependant, comme la puissance absorbée décroît exponentiellement en fonction de la profondeur, le DAS local est d'autant plus important qu'il est calculé sur un petit volume : pour 10 g, il est de 0,4 à 1 W/kg.

Deux principes techniques contribuent à minimiser le DAS dans la tête des utilisateurs :

- la qualité de la communication nécessite que la majorité du rayonnement émis par le téléphone le soit en direction de la station de base, ce qui implique que la partie absorbée par la tête de l'utilisateur soit minimale ;
- la recherche de l'autonomie maximale du téléphone, qui est optimisée par un dispositif de contrôle de puissance.

Le dispositif de contrôle de puissance a pour objet de réduire les interférences entre utilisateurs dans une même cellule, et de permettre la diminution du volume de la batterie, grâce à une moindre consommation. Lors de la connexion de l'utilisateur du mobile avec son correspondant, la puissance émise est ajustée à un niveau élevé permettant d'avoir une communication immédiate optimale, puis le contrôle de puissance réduit celle-ci par paliers de 2 dB, en quelques secondes, jusqu'à se stabiliser au niveau minimum compatible avec une bonne qualité de la communication. Le champ reçu varie donc, en un point donné, avec le temps (sur une échelle de 20 à 30 secondes). Le déplacement de l'utilisateur (lors de la marche ou d'un transfert en voiture, par exemple), fait prendre le relais par plusieurs stations de base successivement, chacune démarrant sa communication à un niveau élevé, puis abaissant la puissance. Ainsi, l'exposition reçue est le produit d'une série de champs variant sur une amplitude de quelques centièmes à de l'ordre de 0,5 à 1 W/Kg. C'est donc lors de l'utilisation d'un mobile en situation de déplacement que l'exposition est la plus élevée, ou encore lors d'une conversation dans une lieu à médiocre réception, qui astreint l'antenne et le mobile à rester à des niveaux de puissance élevés.

### **D - Antennes relais**

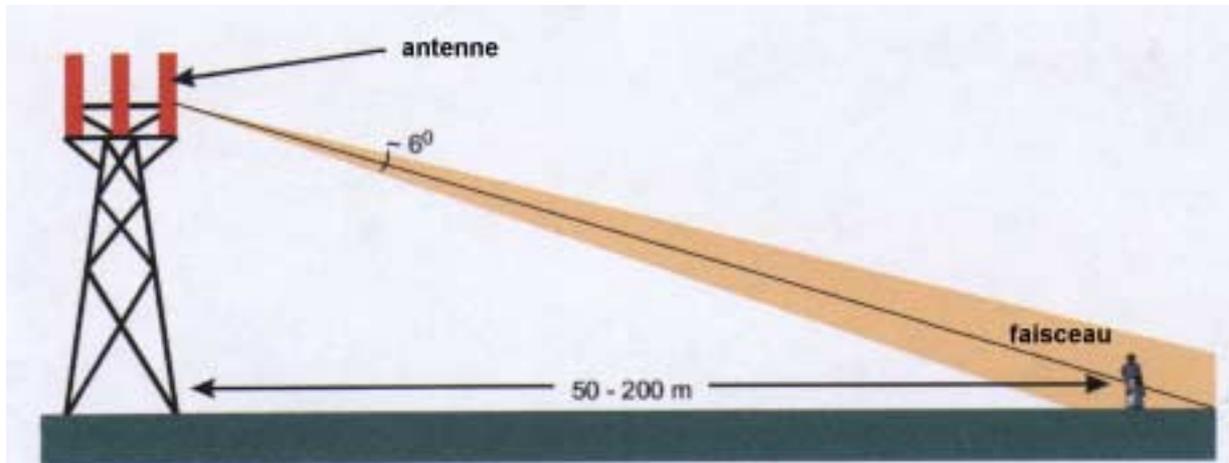
On distingue plusieurs types d'antennes relais ou stations de base, selon le territoire couvert et la densité des communications transmises :

- les stations macro cellulaires, les plus courantes peuvent émettre à une puissance maximum de 20 à 30 watts par bande de fréquence. En milieu rural, la puissance sera élevée pour couvrir des zones étendues (10-30 km) sur un nombre limité de bandes de fréquence utilisateur, tandis qu'en milieu urbain, la puissance sera répartie sur de nombreuses bandes utilisateur dans un périmètre restreint (500 m).
- les stations micro cellulaires ont une puissance moindre et sont utilisées pour couvrir des zones peu étendues de forte densité d'utilisateurs, comme des gares ou des centres commerciaux par exemple,
- les stations pico-cellulaires sont installées à l'intérieur de bâtiments comme des bureaux.

Du point de vue physique, le champ dans l'environnement des antennes se présente de la façon suivante :

- strictement en face de l'antenne, le champ à une distance de 1 mètre d'une station micro-cellulaire est de 50 V/m. Les niveaux de référence fixés par la recommandation européenne 1999/519/ CE sont de 41 V/m à 900 MHz et de 58 V/m à 1800 MHz ; il suffit donc pour être sûr de les respecter de se tenir à une distance de l'ordre de 1,5 m d'une station micro-cellulaire, et de 2,5 m d'une station macro-cellulaire. Les résultats de campagnes de mesure du champ sont présentés plus loin (cf II-4.a).
- en arrière de l'antenne, une plaque métallique réfléchit complètement les champs émis dans cette direction. Une distance de 50 cm est cependant recommandée pour garantir le respect des valeurs recommandées.

- dès que l'on s'éloigne de l'axe de l'antenne en dessus ou en dessous (cas le plus courant, ces antennes étant habituellement disposées à une hauteur de 20 m environ), le champ est au maximum de 1 à 2 V/m. Le faisceau émis est directionnel ; légèrement incliné, avec une large ouverture horizontale de l'ordre de 120° et une faible ouverture verticale de quelques degrés, il n'atteint le sol qu'à une distance de l'ordre de 50 à 200 mètres selon la hauteur de l'installation et l'inclinaison de l'antenne (voir le schéma).



Diffusion du faisceau électro-magnétique depuis une antenne de macrocellule

## E- Les nouvelles gammes de fréquences : technologies émergentes et futures

### GSM

Rappelons ce qu'est le protocole GSM introduit en 1992 : il s'agit d'un signal TDMA (time division multiple access). La fréquence de répétition est de 217 Hz. Le taux de remplissage est de 1/8 pour le téléphone mobile et varie de 1/8 à 8/8 pour la station de base (sauf pour le canal balise -BCCH- dont le taux de remplissage est toujours de 8/8).

Des améliorations à ce protocole de deuxième génération sont le HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) qui permet d'obtenir des débits de 38,4 kbps (email, fax, etc.) et le GPRS (General Packed Radio Service) qui permet d'atteindre 115 kbps.

### UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

L'UMTS est la version européenne de l'IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) universel. Ce protocole permet un débit important pour de nouveaux services (multimédia, etc.). Trois échelles de cellules sont prévues (macro, micro, et pico).

Type de cellule	Macro	Micro	Pico
<b>Rayon</b>	<20 km	< 1000 m	< 100m
<b>Antenne</b>	Toits	Façades	Plafonds Murs
<b>Applications</b>	Campagne, Banlieues, Villes	Haute densité d'activité	Bâtiments Centres villes
<b>Services</b>	limités		tous services
<b>Débit de données</b>	≤ 144 kbps	≤ 384 kbps	≤ 2 Mbps

Deux protocoles complémentaires sont utilisés : W-CDMA et TD-CDMA (Wide-Band ou Time-Division Code Division Multiple Acces) dans les bandes de fréquences 1900-1920 MHz et 2010-2025 MHz respectivement. La puissance utilisée est de 0-50 W pour la station de base et de 2 W maximum pour le téléphone mobile (en pratique beaucoup moins grâce au contrôle de puissance).

### **DECT** (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

Depuis 1988, les téléphones mobiles DECT sont répandus dans les résidences et les bureaux. La fréquence est située entre 1,88 et 1,9 GHz. Le protocole est le TDMA comme pour le GSM et la puissance moyenne pour la base est de 250 mW, et de 10 mW pour le terminal, avec une portée de 300 m environ.

### **TETRA** (Terrestrial Trunked Radio)

TETRA est, depuis 1995, le nouveau système de communication privé en développement pour la police, les ambulances, etc. Il s'agit d'un protocole TDMA avec 4 canaux (contre 8 pour le GSM). Les bandes de fréquence sont en Europe de 380-383 MHz et 390-393 MHz pour les urgences et jusqu'à 921 MHz pour les autres situations. La puissance de la station de base est de 15 W et celle du terminal de 1 W.

### **TFTS** (Terrestrial Flight Telecommunications System)

Le système TFTS permet aux avions en vol de communiquer avec le sol (téléphone). Les fréquences utilisées sont 1800-1805 MHz pour la liaison descendante et 1670-1675 MHz pour la liaison ascendante. La puissance est de 10 W environ. La taille des cellules est très grande (350 km).

## **Liaisons RF individuelles**

De multiples applications à courte portée sont déjà effectives ou en développement :

- Contrôle à distance (voitures, engins, jouets, etc.)
- Liaison pour la HiFi, ou la vidéo,
- Télémétrie et identification de personnes, de véhicules, etc.
- Radar pour la mesure de distances.

Pour le transfert de données numériques à faible distance, plusieurs protocoles sont en développement:

### **Hiperlan/2** (High Performance Radio Local Area Networks)

Système de liens RF à fort débit ( $\leq 54$  Mbps), de grande flexibilité (voix, données, vidéo). La fréquence se situe dans les bandes 5150-5250 MHz et 17,10-17,30 GHz. Le protocole est de type CDMA avec une puissance moyenne de 100 mW.

### **Bluetooth**

Le système de liaison à courte distance Bluetooth (du nom d'un roi viking du 10<sup>ème</sup> siècle) est issu d'un groupe fondé par les sociétés Ericsson, IBM, Intel, Nokia et Toshiba. La fréquence utilisée est dans la bande 2400-2483,5 MHz et la puissance typiquement de 1 mW pour une portée de 10 m seulement (liaison entre appareils dans une maison ou entre le téléphone mobile et l'écouteur-micro). Le débit peut atteindre 1 Mbps.

Progressivement, les communications fondées sur les technologies analogiques vont être remplacées par les systèmes numériques. Cela permet à des transmissions de plus en plus rapides ainsi qu'à des efficacités spectrales plus grandes. Les puissances d'émission peuvent être abaissées en raison des moindres interférences que cela autorise. Globalement, le développement des technologies nouvelles décrites ci-dessus va conduire à une multiplication des sources dans notre environnement. Néanmoins, il est probable que le niveau ambiant global ne croîtra pas de façon significative, même si

une augmentation transitoire est à prévoir en raison de l'introduction de nouvelles technologies cohabitant avec les anciennes. La contribution des multiples sources de faible puissance et situées à proximité sera aussi grande que celles des sources puissantes mais éloignées (Radio et télédiffusion), dont la puissance, malgré le passage au numérique ne diminuera pas sensiblement (20 kW).

#### **4. Implantation des stations de base et exposition des personnes**

##### **a- Mesures des champs au voisinage de stations de base**

Le groupe d'experts a demandé aux trois opérateurs de téléphonie mobile en France de lui faire connaître, afin de les inclure dans son rapport, les résultats des mesurages ponctuels ou des campagnes réalisées sur le territoire (courriers du 11 novembre 2000). La même demande avait été adressée le 5 octobre (demande renouvelée le 5 décembre) à l'Agence Nationale des Fréquences. Lors de la rédaction de ce rapport, seul Bouygues Telecom avait fourni certaines des données sollicitées (cf plus loin) ainsi que, de manière plus limitée, France Telecom Mobiles. Le groupe d'experts s'étonne de cette situation qui ne lui permet pas de fournir au public l'ensemble des informations attendues. L'Agence Nationale des Fréquences a indiqué au groupe d'experts par courrier de son directeur général en date du 13 novembre 2000, que les résultats dont elle disposait ne pouvaient être considérés comme représentatifs, en l'absence actuelle de protocole de mesure établi au niveau national et permettant de conduire une telle campagne sur des bases bien définies. L'Agence s'est fixé pour objectif d'élaborer un tel protocole de mesures de référence, permettant de couvrir l'ensemble du domaine des radiofréquences, afin de lancer une campagne de mesures sur un échantillon de sites représentatifs de la situation dans notre pays. De son côté la compagnie Cégétel a communiqué quelques résultats de mesures réalisées sur deux sites par un organisme de contrôle technique d'une part et par l'ANFR d'autre part. Les deux mesures ont été réalisées selon des protocoles très différents : dans un cas avec une sonde à très large bande à faible sensibilité, et dans l'autre avec une antenne sélective en bande étroite. Ces méthodologies différentes ne permettent pas de réaliser une synthèse de ces documents.

Par ailleurs, différents organismes ont effectué des mesurages dans d'autres pays européens, et en ont publié les résultats au moyen d'articles scientifiques ou de rapports. Ces différentes informations sont réunies dans cette section, de manière synthétique.

##### **• *Cartographie des sites typiques GSM 900, données France Telecom Mobiles***

France Telecom Mobiles a communiqué au groupe d'experts copie d'une étude relative à une cartographie, par simulation, des sites typiques GSM 900, l'environnement considéré prenant en compte l'absorption des parois, mais pas les phénomènes de réflexion. Par ailleurs, selon les constructeurs d'antennes, des disparités peuvent apparaître en ce qui concerne les lobes arrières et les lobes secondaires, donc sur ce point les modèles ne donnent que des ordres de grandeur. Les simulations ont été réalisées en supposant un trafic plein sur 4 canaux, sans tenir compte des variations en cours de journée.

Pour une antenne macrocellulaire 900 MHz (Kathrein K736863) ayant une ouverture verticale de 8° et une ouverture horizontale de 90°, le périmètre de sécurité correspondant à la limite d'exposition de 41 V/m est de 2m en face de l'antenne, 20 cm derrière l'antenne ainsi que au-dessus et au dessous, et 1 m sur les cotés de l'antenne. La simulation d'une antenne sur pylône de 23 m de haut conduit aux résultats suivants : 15 V/m à 10 m en face de l'antenne, 7 V/m à 20 m en face de l'antenne, 3 V/m à 50 m en face de l'antenne, 2,25 V/m à 5 m sous l'antenne à une distance horizontale de 20 m du pied du pylône et 1 V/m à 10 m sous l'antenne à une distance horizontale de 20m du pylône.

Pour une antenne à 1m de la bordure d'un toit terrasse en béton armé, la simulation met en évidence une valeur maximale de 0,5 V/m à 2 m sous l'antenne (dans l'étage situé en dessous). Pour

une antenne macrocellulaire en façade, le champ est de 15V/m à 1 m sur les cotés de l'antenne et de 1,5 V/m à 1 m derrière l'antenne en tenant compte d'une absorption de 10 dB par le mur.

Pour les sites microcellulaires en façade (antenne Kathrein K736350), le périmètre de sécurité correspondant à la valeur de 41 V/m est de 10 cm autour de l'antenne ainsi que au dessus et au dessous. La valeur de champs est de 3 V/m à une distance de 1 m derrière l'antenne, 10 V/m à 1 m sur les cotés de l'antenne, et 1,5 V/m à 15 m en face de l'antenne. Pour les sites picocellulaires, le périmètre de sécurité défini dans les mêmes conditions est de 10 cm autour de l'antenne et de 5cm au dessus et au dessous de l'antenne.

Des mesures sur sites ont été réalisées par France Telecom ; les résultats diffèrent très sensiblement selon les moyens de mesures utilisés (sensibilité, isotropie, sélectivité en fréquence). Avec une sonde isotrope de type Melop Thomson, sélective en fréquence, des mesures ont été réalisées en 9 lieux publics très fréquentés dans Paris. Les valeurs maximales de densités de puissance spécifiques mesurées s'échelonnent de 0,72 à 0,0056 mW/m<sup>2</sup> dans la bande GSM 900 et de 0,13 à 0,018 mW/m<sup>2</sup> dans la bande DCS 1800. La même mesure a été réalisée en sommant l'ensemble des densités de puissance dans la bande 85 à 1900 MHz couvrant, outre les stations de base, les spectres radio FM et télévision; les valeurs s'échelonnent de 19 à 1,2 mW/m<sup>2</sup>, la valeur la plus élevée étant relevée à proximité de la Tour Eiffel, elle correspond à un champ de 2,7 V/m. Selon ces mesures, à l'intérieur des valeurs de densités de puissance liés à l'ensemble des sources de radiofréquences, les stations de base de téléphonie mobile ne représenteraient qu'une part relativement modeste aux points de mesures considérés. En effet, le rapport entre le maximum de densité surfacique de puissance dans la bande GSM 900 et la densité surfacique de puissance totale dans la bande 85 à 1900 MHz s'échelonne d'un maximum de 0,142 à Notre Dame à un minimum de 0,001 à Montmartre (14% à 0,1%). Dans la bande DCS 1800, ce rapport est moins variable, il s'échelonne de 0,032 Place de la Concorde à 0,0086 à Montmartre (de 3,2% à 0,86%).

France Telecom Mobiles a fourni par ailleurs 3 compte rendus de mesures de champs réalisés par des organismes de contrôle technique, sur des terrasses ou en appartement. Ces mesures ont été réalisées avec des sondes isotropes à très large bande de faible sensibilité (Wandel Golterman ou Chauvin Arnoux) ; elles ne peuvent être considérées comme représentatives des seules stations de base, mais de l'ensemble du spectre de radiofréquence.

- ***Campagne de mesure de champs dans les écoles parisiennes proches de stations de base (données fournies par Bouygues Telecom).***

A l'initiative de Bouygues Telecom, la société ETDE (organisme de contrôle technique) a réalisé une campagne de mesures de champs électriques dans des écoles parisiennes proches d'une station de base du réseau Bouygues Telecom. Les résultats de cette étude n'ont pas encore été publiés, mais présentés lors d'un congrès en décembre 2000, ils ont été adressés pour information à la direction des Affaires Scolaires de la mairie de Paris et à la Direction générale de la santé.

## **1/ Méthodologie**

Une liste de 100 écoles maternelles et d'enseignement élémentaire, proches d'une station de base du réseau Bouygues Telecom a été établie sur les 338 écoles maternelles et 335 écoles élémentaires existant dans Paris intra-muros. Soixante neuf d'entre elles, dépendant de la Direction des Affaires scolaires de la Ville ont été visitées au cours du mois d'août 2000. Pour chaque école, trois points de mesure ont été retenus : centre de la cour de récréation, salle de classe au centre du bâtiment, et hall d'entrée. En l'absence de protocole de mesure harmonisé au niveau national ou européen, les opérateurs se sont fondés sur les projets de normes en cours d'élaboration. La valeur efficace du champ électrique a été mesurée en bande étroite dans les bandes FM, TV, GSM 900 et GSM 1800, à l'aide d'un analyseur de spectre couplé à des antennes spécifiques à chaque bande. Les résultats sont

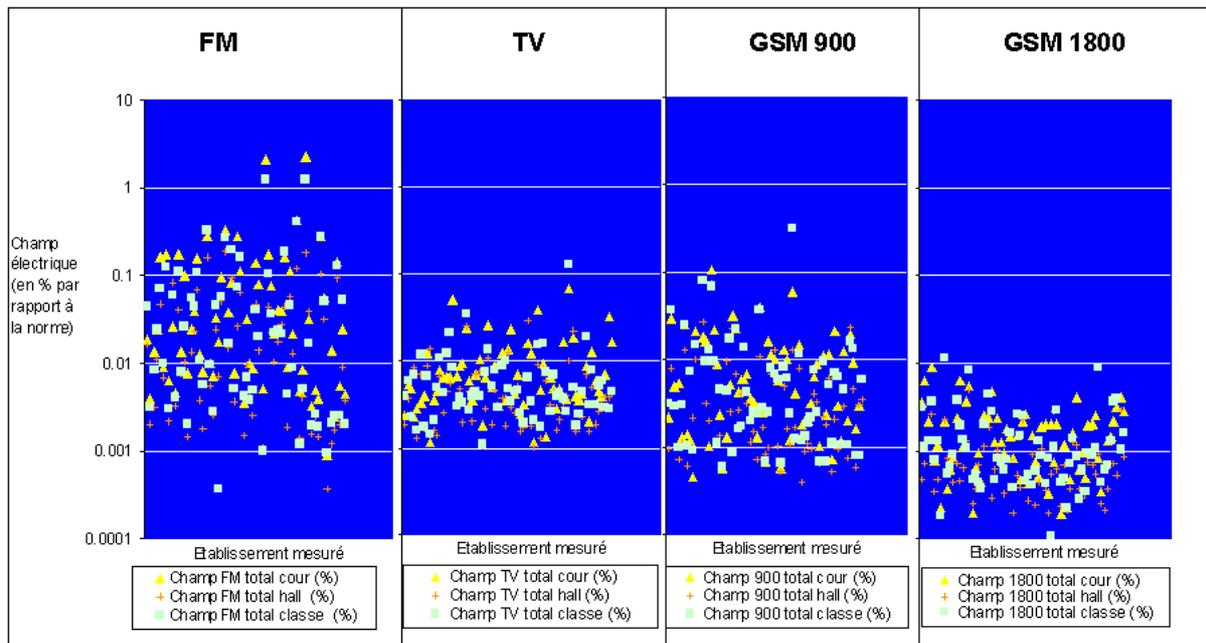
exprimés en V/m et en pourcentage du niveau de référence fixé par la recommandation européenne du 12 juillet 1999.

## **2/ Résultats**

La distance horizontale en mètres de l'école à la station de base GSM 1800 la plus proche s'échelonne de 30 à 372 mètres, la distance aux stations de base GSM 900 et aux autres sources de radiofréquences n'a pas été évaluée dans cette étude. Le trafic maximum a été évalué par extrapolation pour les bandes GSM 900 et GSM 1800 à partir des données du canal de service, lequel fonctionne en permanence à la puissance nominale, en tenant compte du nombre de canaux par antenne (en général 4 à Paris). L'ensemble des signaux des émetteurs FM d'un côté et télévision de l'autre a été agrégé pour définir un niveau de signal global pour ces deux bandes.

Exprimés en pourcentage du niveau de référence de champ, ils montrent : dans la bande FM, des valeurs comprises entre 1/100.000 et quelques pour cents du niveau de référence, pour la bande TV et la bande GSM 900 des valeurs comprises entre 1/100.000 et 1/1000 du niveau de référence, pour la bande GSM 1800, des valeurs comprises entre 1/1.000.000 et 1/10.000 du niveau de référence (cf figure ci-après). Le niveau de référence de 58 V/m est plus élevé dans la bande GSM 1800 que dans la bande GSM 900, 41 V/m ce qui pourrait expliquer en partie la différence, le résultat étant exprimé en pourcentage du niveau de référence. Le nuage de points dans chaque bande ne permet pas de mettre en évidence une différence apparente des niveaux de champs entre les mesures réalisées dans les classes, dans les cours ou dans les halls d'entrée, sauf pour la bande FM dont les valeurs apparaissent systématiquement plus élevées dans les cours. Ce point aurait mérité une analyse statistique plus fine. La relation entre la distance à la station de base et le niveau de champ mesuré a fait l'objet d'une analyse spécifique, site par site dans les cours dans les halls et dans les classes. Dans les cours, le résultat est conforme aux modèles : entre 30 et 100 mètres, le champ est faible et constant, en moyenne de l'ordre de 0,0005 V/m, à l'exception d'un point à 0,003 V/m situé à 70 mètres d'une station de base, probablement lié à la présence d'un faisceau proche. Ensuite de 100 à 150 mètres, le champ moyen augmente avec des valeurs maximales à 0,002 V/m et une forte dispersion des points de mesure probablement en raison de la présence d'obstacles à la propagation. Ensuite le champ décroît pour se stabiliser vers 200 mètres à une valeur inférieure à 0,0005 V/m. Dans les classes, la répartition des champs est un peu différente, on retrouve quelque soit la distance une majorité de points au dessous de 0,0005 V/m. On retrouve le même point que précédemment à 70 mètres avec une valeur de 0,004 V/m et entre 70 et 175 mètres quelques points situés au dessus de 0,001 V/m. Dans les halls les valeurs mesurées sont plus basses en raison de l'effet d'absorption par les murs et homogènes de l'ordre de 0,0002 V/m quelque soit la distance, avec quelques points (6) entre 0,0006 et 0,001 V/m entre 70 et 120 mètres.

### **Résultats des mesures de champ dans des écoles parisiennes ; comparaison de différents champs RF**



Source : Bouygues Telecom, août 2000

### 3/ Conclusion.

Cette étude a porté sur un nombre relativement important de sites, avec sur chaque site trois mesures représentatives de lieux de vie différents, la méthodologie de mesure est correcte. On peut conclure des éléments disponibles que le niveau d'exposition aux radiofréquences dans les écoles de Paris est plus élevé dans la bande FM que dans les bandes GSM et que le niveau d'exposition lié à la bande TV est du même ordre de grandeur que pour les bandes GSM. La relation entre la distance et le niveau moyen de champ mesuré en extérieur est conforme aux modèles, il est faible et constant à courte distance, il augmente avec la distance à partir d'une centaine de mètres pour décroître à partir de 150 mètres. Le niveau de champ mesuré, lié aux stations de base proches apparaît très faible dans ces écoles, la valeur moyenne est inférieure à 0,001 V/m dans les classes ainsi que dans les cours, elle est inférieure à 0,0005 V/m dans les halls.

- **Analyse du rapport NRPB : Exposure to radiowaves near mobile phone base stations NRPB-R 321.**

Le NRPB, National radiological protection board, est au Royaume Uni l'organisme public chargé de la radioprotection, y compris pour le domaine des rayonnements non ionisants. Le rapport Stewart publié en mai 2000 avait fait certaines recommandations relatives aux stations de base de téléphonie mobile, notamment la réalisation d'un audit indépendant des industriels, afin de s'assurer que les valeurs limites d'exposition ne sont pas dépassées à proximité des stations de base, en dehors des zones d'accès réservé. C'est dans ce cadre que le NRPB a réalisé une campagne de 118 mesures portant sur différents sites de stations de base de téléphonie mobile, à proximité desquelles le public s'interrogeait sur le niveau de rayonnement émis. Cette étude a fait l'objet de la publication NRPB R 321 en juin 2000

#### 1/ Résumé de la méthodologie

a/ Rappel technique

Le rapport rappelle le mode de fonctionnement des réseaux de téléphonie mobile fondé sur l'existence de cellules à l'intérieur desquelles une station de base assure les communications montantes du mobile vers la station et descendantes dans l'autre sens. Ces cellules sont de taille variable selon les caractéristiques géographiques du lieu, allant en zones rurales de la dizaine de kilomètres, à un kilomètre ou moins en ville, il s'agit alors de macrocellules dont la couverture est assurée par une antenne située en toiture ou sur pylône. La couverture de distances de l'ordre de la centaine de mètres ou moins est assurée par des microcellules ou des picocellules de courte ou très courte portée. Le rapport précise les caractéristiques techniques des antennes et notamment le caractère directionnel du faisceau émis, avec une large ouverture horizontale de l'ordre de 120° et une faible ouverture verticale de quelques degrés. Le faisceau étant légèrement incliné par rapport à l'horizontale, il n'atteint le sol qu'à une distance de l'ordre de 50 à 300 mètres selon la hauteur de l'installation et son inclinaison par rapport à l'horizontale. Chaque panneau d'antenne émet une puissance rayonnée maximale de l'ordre de 10 watts. La campagne de mesures ne porte que sur des antennes de macrocellules, dont la puissance maximum au Royaume uni s'échelonne de 25 à 70 Watts selon le nombre de panneaux. Selon les auteurs du rapport, les antennes de microcellules n'émettent qu'à une puissance maximale de l'ordre du Watt, elle est de l'ordre de 0,1 ou 0,2 Watts pour les picocellules. Le gain de ces antennes de microcellules ou de picocellules est plus faible et les faisceaux moins directifs (donc moins denses). Les distance de sécurité qui en découlent ne dépassent pas quelques décimètres.

#### b/ Les recommandations nationales et internationales.

Le rapport rappelle les différentes valeurs d'exposition recommandées pour le public et les travailleurs. Dans ce domaine de fréquence, les niveaux maximum d'exposition, exprimés en densité de puissance, retenus au Royaume uni (norme NRPB) sont de 33,2 Watts /m<sup>2</sup> à 900 MHz et 100 Watts / m<sup>2</sup> à 1800 MHz. Les valeurs limites d'exposition admises par la recommandation européenne du 12 juillet 1999 et issues de la recommandation de la Commission Internationale de Protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) sont, pour le public, de 4,5 Watts /m<sup>2</sup> à 900 MHz et de 9 W/m<sup>2</sup> à 1800 MHz.

#### c/ Matériel de mesures .

Les auteurs précisent que les sondes isotropes à main utilisées pour mesurer des niveaux d'exposition comparables aux valeurs limites recommandées, sont inadaptées pour ce type de mesures car manquant de sensibilité. Les mesures ont donc été réalisées à l'aide d'un analyseur de spectre couplé à différents types d'antennes selon le domaine de fréquence, permettant un seuil de détection inférieur à 1µW/m<sup>2</sup> et une bonne sélectivité. Les incertitudes de mesures ont été évaluées et sont relativement importantes de l'ordre de 3 dB même avec la méthode de mesure utilisée.

## **2/ Modélisation.**

Les auteurs, afin de vérifier la cohérence de leurs mesures avec les modèles mathématiques généralement utilisés, ont calculé à l'aide de deux modèles mathématiques la distance prévisible de respect des valeurs limites d'exposition devant une antenne de 80 watts composée de 12 éléments. Selon la loi de l'inverse du carré de la distance, la valeur limite d'exposition prévue par le recommandation du 12 juillet 1999 est respectée à 8 mètres en face de l'antenne à 900 MHz et à 6 mètres à 1800 MHz. Selon un modèle de calcul en champ proche, plus représentatif de la réalité, cette valeur est respectée à 2,5 mètres à 900 MHz et à 5,5 mètres à 1800 MHz. Par la suite, la comparaison des mesures sur site avec ces modèles a démontré une différence importante entre les valeurs issues du modèle et les valeurs réellement mesurées. Cette différence est d'autant plus grande que l'on se trouve à faible distance de l'émetteur, la modélisation peut surestimer la valeur réelle mesurée de densité de puissance jusqu'à 4 ordres de grandeur lorsque le point de mesure ne se situe pas directement dans le faisceau de l'antenne ou lorsqu'un obstacle, tel qu'un mur, constitue un écran. Les modèles de densité de puissance au sol, montrent, pour une antenne située à 15 mètres du sol, une très faible densité de puissance au pied des mats d'antennes jusqu'à une distance de 10 mètres environ, elle croit ensuite

progressivement entre 10 et 100 mètres (avec des pics de densité en raison de la présence de lobes d'émission accessoires). Le maximum de densité, prenant en compte les rayonnements réfléchis, est atteint à une distance de 180 mètres du mat, la puissance diminue ensuite en fonction de la règle du carré de la distance, elle est à 300 mètres légèrement supérieure à la valeur estimée à 70 mètres. Le bord inférieur du faisceau principal touche le sol, dans cette configuration du modèle, à une distance de 100 mètres environ.

### **3/ Les mesures**

Les mesures ont été réalisées sur chacun des sites dans la gamme de fréquences s'étendant de 30 MHz à 2,9 GHz afin de couvrir l'ensemble du spectre des émissions de radio FM de télévision et de radiotéléphonie. La technologie de mesure utilisée a permis d'isoler en chaque point de mesure : le signal émis par la station de base la plus proche, l'ensemble des stations de base et l'ensemble des signaux radio dans le spectre considéré. Des mesures ont été réalisées à l'intérieur des bâtiments aussi bien qu'à l'extérieur.

Les résultats de mesures de la densité de puissance liée à la station de base la plus proche sont très dispersés surtout à courte distance. Les valeurs relevées sur les sites situés hors des bâtiments sont de l'ordre de  $10 \mu\text{W}/\text{m}^2$  à  $1 \text{ mW}/\text{m}^2$ , soit de l'ordre de grandeur du millième au millionième des valeurs guides européennes. Les densités de puissances relevées à l'intérieur des bâtiments sont généralement inférieures, mais plus dispersées que les valeurs relevées à l'extérieur, s'étageant de  $0,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  à  $1 \text{ mW}/\text{m}^2$ . La valeur moyenne des densités de puissance mesurées tend à augmenter entre 0 et 100 mètres de l'antenne puis à se stabiliser ensuite à une valeur de l'ordre de  $0,1 \text{ mW}/\text{m}^2$ . Cette constatation est à mettre en rapport avec le fait qu'en s'éloignant de l'antenne on se rapproche progressivement du faisceau pour pénétrer ensuite dans son champ. A courte distance, la dispersion des résultats est à mettre en rapport avec l'existence d'obstacles entre le faisceau et le point de mesure, ainsi que la position très variable du point de mesure par rapport au faisceau.

Les résultats des mesures de la densité de puissance liée à l'ensemble des sources de radiofréquence montrent une moins grande dispersion que pour les mesures de la station de base seule. Pour les mesures initiales (station de base seule) supérieures à  $0,1 \text{ mW}/\text{m}^2$  l'addition des autres sources a peu d'effet sur le résultat de la mesure totale, alors que les mesures inférieures à  $0,01 \text{ mW}/\text{m}^2$  deviennent rares lorsque l'on prend en compte l'ensemble des sources. Si l'on réalise une moyenne géométrique des mesures de densités de puissance liées à la station de base proche, on observe un résultat peu différent de la densité de puissance liée à l'ensemble des autres sources :  $33 \mu\text{W}/\text{m}^2$  contre  $21 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

Si l'on rapporte les valeurs de densité de puissance totale en chaque point de mesure, à la valeur limite d'exposition retenue par la recommandation européenne, le résultat s'échelonne entre le millième et le dix millionième, avec comme il était prévisible, une forte dispersion près des antennes et une valeur stable de l'ordre du dix millième à partir de 100 mètres, ce qui signifie probablement que la densité de puissance liée à la station de base n'émerge plus du bruit de fond électromagnétique ambiant à partir de cette distance. Le rapport entre le signal issu de la station de base et les signaux à l'ensemble des sources est très dispersé à courte distance, il varie entre 0,001 et 100. A partir de 100 mètres, il se stabilise à une valeur de l'ordre de 0,1.

### **4/ Conclusions.**

A courte distance la puissance rayonnée par les antennes peut dépasser les valeurs limites d'exposition lorsque l'on se situe en face de l'antenne dans le faisceau. Les antennes sont directionnelles, dans le plan du faisceau d'émission, et selon les modèles mathématiques, les valeurs limites d'exposition ne sont plus dépassées au delà de quelques mètres. De manière globale, on n'observe pas une tendance à la décroissance du niveau de densité de puissance avec la distance. Sur les sites de mesures de cette étude, la densité de puissance liée aux autres sources est du même ordre de grandeur que celle qui est liée à la station de base proche. La moyenne géométrique des densités de

puissances, toutes sources confondues, mesurées dans cette étude à proximité de stations de base (5 à 230 mètres) représente 18 millièmes des valeurs fixées par la recommandation ICNIRP. Si l'on retire la densité de puissance de la station de base proche, la moyenne géométrique des densités de puissance liées aux autres sources est alors de 5,5 millièmes des valeurs recommandées par l'ICNIRP, dans les deux cas les valeurs mesurées sont très dispersées.

- **Résumé de l'article : *Electromagnetic field pattern in the environment of GSM base stations* (paru dans *Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 12 47-58 1999)**

Cet article est issu des travaux du laboratoire des risques électromagnétiques de l'institut de médecine du travail de Lodz en Pologne.

### **1/ le cadre réglementaire polonais.**

Il existe en Pologne des cadres réglementaires différents pour l'exposition du public et des professionnels aux champs électromagnétiques. Pour le public, dans la bande 300 MHz à 300 GHz, la valeur admissible de densité de puissance est de 0,1 W/m<sup>2</sup> (6,14 V/m). Pour les professionnels il existe 3 classes de risques nécessitant des mesures de protection différentes : > 100 W/m<sup>2</sup>, 20 à 100 W/m<sup>2</sup> et 0.1 à 20 W/m<sup>2</sup>. Ces deux dernières catégories correspondent aux niveaux observés en milieu professionnel exposé.

### **2/ les réseaux de téléphone mobile en Pologne .**

La situation de ces réseaux n'est pas sensiblement différente en Pologne de la situation de la France, la puissance des antennes de stations de base est de l'ordre de 10 à 20 watts, ces antennes sont installées en toiture d'immeuble, sur les hôpitaux, en murs pignons, et sur des tours essentiellement en milieu rural. Une particularité polonaise est l'emploi fréquent de cheminées d'usines pour l'installation de ces antennes. Les différents types d'antennes utilisés sont conformes à ce que nous connaissons avec environ 25 modèles différents, l'inclinaison des panneaux par rapport à la verticale est de 3 à 9 °. La puissance sans perte est de 20 Watts, la perte moyenne est de l'ordre de 3 dB.

### **3/ Résumés des mesures et modélisations.**

Les méthodes de mesures ne sont pas décrites dans l'article qui renvoie à une norme polonaise et à une procédure de certification cités en référence. Pour une antenne située en toiture sur un mat de 4.8 m, le niveau de référence de 0,1 W/m<sup>2</sup> est dépassé pour une personne de 1,8 m se déplaçant sur la toiture, située à une distance de l'ordre 8,8 m du pied du mat dans la direction du faisceau principal et si l'inclinaison du panneau est de 15 degrés. Pour une inclinaison moindre, le niveau de référence n'est pas dépassé quelque soit la distance au mat. Si la hauteur du mat est de 3 mètres seulement, le niveau de référence est dépassé à une distance de 3,8 mètres du pied du mat si l'inclinaison est de 15 degrés et à une distance de 11,3 m pour une inclinaison de 3 degrés. Ceci démontre le caractère très directionnel de ces antennes dans le plan vertical, la nécessité de les implanter le plus possible en bordure de terrasse, ce qui ne semble pas être la règle pour les installations polonaises. Vingt sites proches de stations de base ont fait l'objet de mesures de champs, réalisées par des organismes publics. Lorsque les stations de base se trouvent en toiture d'immeuble, sur des mats dont la hauteur varie de 1,65m à 8,5m et l'inclinaison de 0° à 9°, le niveau de référence n'est dépassé en un point de la toiture terrasse que dans 20 % des cas. Les valeurs mesurées s'échelonnent de 0,025 à 2 W/m<sup>2</sup>. Les auteurs n'ont pas retrouvé de densité de puissance mesurable dans les étages supérieurs des immeubles en question. En ce qui concerne les immeubles environnants, ils ont retrouvé dans deux cas, l'un situé à 42 mètres l'autre à 52 mètres, sur des balcons d'immeubles, des valeurs mesurées de l'ordre du tiers ou du quart du niveau de référence polonais. En ce qui concerne les antennes situées sur des tours ou des cheminées, aucune densité de puissance mesurable n'a été retrouvée aux alentours. Par contre sur ces tours ou cheminées, dans des zones accessibles seulement au personnel d'intervention, à proximité

immédiate des antennes, des valeurs de 0,66 à 1,7 W/m<sup>2</sup> ont été mesurées. Ces valeurs sont supérieures aux niveaux de référence polonais mais sensiblement inférieures aux niveaux de référence de la recommandation européenne du 12 juillet 1999.

#### **4/ Conclusion.**

Les niveaux de référence polonais de densité de puissance, 45 à 90 fois inférieurs aux niveaux de référence de la recommandation européenne, ne sont dépassés sur les toitures porteuses d'antennes de stations de base que dans 20% des cas et dans 5% des mesures réalisées sur des tours ou des cheminées. Aucune mesure réalisée dans des lieux accessibles au public, dans des immeubles proches, à proximité des stations de base ou dans les immeubles supportant les stations de base n'a montré de dépassement du niveau de référence. Le personnel intervenant dans les zones de protection peut être exposé à des niveaux dépassant les niveaux de référence. Par ailleurs pour que soient respectés les niveaux de référence polonais sur les toitures, les faisceaux hertziens de liaison entre les stations de base doivent être installés à une hauteur de 2 mètres minimum pour une fréquence de 23 GHz et de 3 mètres pour une fréquence de 7 GHz.

- ***Résumé de la présentation 'Exposure next to base stations in Austria'***

Par G. Neubauer, Austrian Reserch Center Seibersdorf A 2444 Seibersdorf Austria

Il s'agit d'une étude menée par l'ARCS, présentée lors de congrès mais non encore publiée dans la presse scientifique. L'étude a été conduite dans le cadre d'un projet européen soutenu par le COST 244 bis, afin de vérifier le respect des niveaux de référence sur différents sites proches de stations de base de téléphonie mobile, en Autriche, Belgique, Hongrie et Suède. Ces résultats feront l'objet d'une publication commune dans le cadre du COST 244 bis.

#### **1/ Méthodologie**

Il existait fin 1999, un peu plus de 8500 stations de base en Autriche, fonctionnant sur les réseaux 900 et 1800 MHz. 202 mesures de niveaux des champs en bande étroite ont été réalisées par des organismes de contrôle technique, à proximité de ces stations de base, dont 100 en milieu urbain et 102 en milieu rural. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un analyseur de spectre couplé à des antennes spécifiques, des mesures en bande large ont été également réalisées. Les distances et la géométrie des lieux ne sont pas précisées dans la présentation de cette étude

#### **2/ Résultats**

Les résultats, exprimés en densités de puissance ont montré une valeur maximale mesurée en bande étroite sur la fréquence de la station proche, de 13,4 mW/m<sup>2</sup> (2,24 V/m) soit 0.28% de la valeur de référence retenue par la recommandation européenne pour les densités de puissance. La densité de puissance maximale mesurée en bande large est de 66,3 mW/m<sup>2</sup> (5V/m), dans ce cas la densité de puissance mesurée est liée essentiellement à d'autres sources que la station de base proche.

Globalement 8 mesures en bande étroite sur les 202 réalisées ont montré un résultat égal ou supérieur à 1mW/m<sup>2</sup> (0,6 V/m) , 40 se situaient entre 0,1 et 1 mW/m<sup>2</sup> , 43 se situaient entre 0,01 et 0,1 mW/m<sup>2</sup> , 61 se situaient entre 0,01 et 0,001 mW/m<sup>2</sup> (0,02 V/m). Enfin 50 mesures montraient un résultat inférieur à 0,001 mW/m<sup>2</sup>.

#### **3/ Conclusion**

Ces résultats sont cohérents avec ceux d'autres études ayant mesuré les champs en bande étroite centrée sur la fréquence de la station de base proche. Exprimées en pourcentage du niveau de référence pour la densité de puissance, les valeurs mesurées sont de l'ordre du millième à une valeur

inférieure au millionième. Globalement les densités de puissances dues aux différentes sources autres que les stations de base sont du même ordre de grandeur et peuvent même être largement supérieures.

- *Avis du groupe d'experts sur ces campagnes de mesures et leurs résultats.*

#### *La méthodologie de mesure*

Les résultats de ces différentes études récentes sont cohérents entre eux, les mesures ont été réalisées selon des protocoles proches mais pas identiques, ce qui peut expliquer certaines différences de niveau dans les résultats. Il apparaît donc nécessaire de définir au plus vite des protocoles de mesure harmonisés au niveau européen par la voie de la normalisation, fondés sur une méthodologie éprouvée. Toutes ces mesures de stations de base (publiées dans des articles scientifiques) ont été réalisées en bande étroite, en utilisant des antennes spécifiques. Cette méthodologie est la plus appropriée actuellement en l'absence de sondes isotropes sélectives en fréquence et ayant une très bonne sensibilité, notamment en raison des faibles niveaux de champ mesurés dans les zones accessibles au public et du fait que les autres sources de radiofréquence peuvent conduire à des niveaux de champ très largement supérieurs à ceux d'une station de base proche. Ceci est parfaitement compréhensible lorsque l'on sait que, par exemple, un émetteur de télévision de 1 mégawatts représente en termes de puissance rayonnée près de 2 fois la totalité des stations de base de téléphonie mobile du territoire français. La mesure sur site, à l'aide de sondes isotropes à large spectre est à rejeter, la mesure n'étant pas alors représentative de la seule station de base mais de l'ensemble du spectre de radiofréquence, et les sondes étant trop imprécises à de tels niveaux de champ. Cette méthode de mesure doit rester réservée à la mesure en chambre anéchoïde pour la certification des stations de base.

#### *Évaluation de la puissance maximale*

La puissance d'une station de base varie dans le temps dès lors qu'elle dispose de plus d'un canal (canal pilote dont la puissance reste constante). L'évaluation de la puissance maximale de l'antenne ne peut se faire que d'une manière parfaitement rigoureuse, soit à partir du champ issu du seul canal pilote, multiplié par la racine carrée du nombre de canaux, soit en maintenant la station à sa puissance maximum durant la mesure, ou autre méthodologie définie de manière harmonisée. Les normes devront définir une procédure adaptée car toute estimation de la puissance maximale qui serait fondée sur une évaluation arbitraire ne peut être considérée comme représentative de la réalité.

#### *Respect des niveaux de référence à proximité de l'antenne*

A proximité immédiate de l'antenne et dans le faisceau de celle-ci, les niveaux de champ mesurés sont susceptibles de dépasser les niveaux de référence fixés par la recommandation du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999. En raison du caractère très directionnel de ces antennes dans le plan vertical, la distance à laquelle ces niveaux de référence sont dépassés dans des zones accessibles au public dépend notamment de la géométrie de l'installation, une telle situation ne peut s'observer en pratique que sur des terrasses accessibles, et lorsqu'il est possible de se déplacer devant l'antenne dans le faisceau. Il est donc indispensable de définir au cas par cas, lorsqu'une telle situation se présente, une zone de sécurité matérialisée dans laquelle il conviendra de ne pas stationner et dans laquelle les porteurs de prothèses actives (pacemakers par exemple) ne devraient pas pénétrer. La manière de matérialiser cette zone de sécurité devrait être harmonisée au plan international. Afin de s'assurer du respect de ces dispositions, les modalités d'installation des antennes devraient être conformes à un cahier des charges technique dont l'application devrait être rendue obligatoire. Un tel document est actuellement en cours de réalisation dans le cadre du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment et devrait être prochainement publié.

## *Valeurs de champ dans les lieux accessibles au public et effet de la distance à l'antenne*

Dans les lieux de vie, (immeubles d'habitation ou de bureau, établissements scolaires) les niveaux de champ mesurés sont très largement inférieurs aux niveaux de référence définis dans la recommandation européenne. Les valeurs mesurées restent toujours très inférieures aux niveaux de référence, de l'ordre du millième au millionième de cette valeur. Compte tenu de la géométrie des faisceaux, le niveau de champ est très faible sous les antennes et croît progressivement en s'éloignant pour atteindre une valeur maximale à une distance qui dépend de la hauteur de l'antenne par rapport au site de mesure, de la géométrie de l'installation et de la présence éventuelle de constructions faisant écran. Les mesures réalisées par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment montrent qu'un voile de béton armé atténue le faisceau d'un facteur 30 environ et une cloison de plâtre d'un facteur 5. Les constructions constituent donc une bonne protection contre le rayonnement des antennes, en particulier lorsque l'antenne est au dessus de la construction ou à proximité immédiate et qu'en conséquence la construction ne se trouve pas dans le faisceau. Il n'y a donc pas d'argument rationnel qui permettrait de proposer d'éloigner les antennes de certains bâtiments (écoles notamment), la meilleure protection contre le rayonnement étant de se situer sous l'antenne. Par contre, le groupe d'experts estime nécessaire que l'axe des faisceaux principaux des antennes ne soit pas orienté directement vers les lieux de vie à courte distance (moins de 100 mètres), même si les niveaux de champ mesurés sont très faibles et indiscernables du 'bruit de fond' RF, notamment des bandes FM et radio, et cela pour deux raisons : afin d'éviter de diriger le rayonnement de manière inutile vers le public à courte distance, dans le but de maintenir à un niveau le plus faible possible le niveau d'exposition de l'ensemble de la population; mais aussi pour un motif de bon sens : diriger le rayonnement vers des constructions, conduit à une diminution de la portée de l'antenne par absorption ou réflexion partielle. Cette proposition est parfaitement compatible avec le fait de faire passer le faisceau au-dessus ou à côté de ces lieux de vie, même si l'antenne est à courte distance.

## **5. Mise au point sur la question des réflexions et amplifications des ondes**

Certaines personnes ou associations véhiculent depuis quelques années, notamment en France et en Belgique, un point de vue relatif à une éventuelle amplification des champs générés par les stations de base dans des structures métalliques situées à proximité. Cette assertion est sans fondement scientifique réel.

Comme toute onde, les champs électromagnétiques radiofréquences sont **susceptibles d'être réfléchis** par certains matériaux ou surfaces. Ce phénomène de réflexion se retrouve également en optique ou en acoustique. L'importance de la réflexion des champs de radiofréquence dépend du matériau, et elle est plus importante avec les métaux. Ainsi elle est utilisée, par exemple, pour augmenter la densité locale de champ dans des systèmes d'émission ou de réception. C'est le principe de fonctionnement d'une antenne parabolique qui concentre en son foyer le rayonnement reçu sur une grande surface, comme dans un four solaire en optique. La réflexion se fait à énergie totale constante donc sans amplification du signal. Toutes les surfaces concaves sont susceptibles de concentrer plus ou moins un faisceau de radiofréquence, mais pour obtenir une concentration importante il convient que ce faisceau soit dirigé vers une grande surface, ayant une courbure régulière. Les surfaces convexes conduisent au contraire à une divergence du faisceau et les surfaces planes à une réflexion plane donc sans effet sur la densité. Dans la pratique, ces phénomènes conduisent à des inhomogénéités de la densité de puissance dans l'espace, que l'on peut modéliser et prendre en compte notamment pour les calculs de portée des antennes. Ce point a été étudié dans le rapport du NRPB sur les stations de base, la conclusion était que ces phénomènes de réflexion pouvaient augmenter ou diminuer le champ local d'un facteur deux au maximum, mais que les modèles n'étaient valides que dans le faisceau principal et à plus de 10 mètres de l'antenne, sinon ils surestimaient sensiblement le phénomène. Un **mécanisme d'amplification** est tout autre puisque, dans ce cas, l'énergie émise est supérieure à l'énergie reçue. La théorie selon laquelle des structures métalliques seraient susceptibles

d'amplifier passivement un champ de radiofréquence est contraire aux principes de base de la physique.

## **6. Au sujet de la co-localisation des stations de base<sup>9</sup>**

La question est de savoir si, du point de vue de l'exposition de la population au rayonnement émis par les stations de base (SB), il est préférable de rassembler les antennes de différents opérateurs présents dans une même aire géographique sur un mât commun ou si, au contraire, il y a un avantage à disperser les antennes.

La réponse dépend du critère choisi pour définir l'exposition. Considérons une population théorique uniformément répartie sur un territoire. L'exposition est plus élevée proche de la ST et elle décroît progressivement avec la distance, selon une loi de propagation qui peut être relativement compliquée en site urbain.

Quelque soit la loi de distribution émise, et si la population est uniformément répartie, l'exposition moyenne est la somme des valeurs moyennes des signaux émis par les différents opérateurs (si ces signaux ne sont pas corrélés, ce qui est le cas), indépendamment de la localisation des antennes. Dans ces conditions, la co-localisation ou la dispersion des antennes est indifférente.

Si, au contraire, c'est la valeur maximum qui est utilisé comme critère pertinent d'exposition, alors il y a un avantage à séparer les stations.

## **7. Résultats des mesures de champs avec kits mains libres**

Les seules données françaises auxquelles le groupe d'experts a eu accès lui ont été communiquées par Bouygues Telecom. Elles résultent d'essais sur fantôme, le kit piéton étant disposé comme lors de l'usage normal du téléphone mobile ; différentes situations ont été testées, en vue d'induire un niveau de DAS maximum au niveau de la tête (orientation du téléphone par rapport au kit, enroulement du fil du kit autour de l'antenne du mobile...). Une quarantaine de mesures ont été effectuées aux fréquences 900 et 1800 MHz, avec 5 modèles de téléphones et 5 types de kits piétons.

Jamais le DAS au niveau de la tête n'a été accru avec le kit piéton. Le DAS, en présence d'un kit, varie de 0,39 à 0,007 W/Kg selon le couple mobile-kit et la configuration d'utilisation. La réduction moyenne est de l'ordre d'un facteur 50 dans les conditions normales d'utilisation, la réduction la plus faible étant de 2 seulement dans le pire cas. L'efficacité de deux kits, pour un même mobile et dans des conditions normales d'utilisation, varie d'un facteur 1 à 10.

Certes partiels et devant être prolongés, ces résultats sont corroborés par d'autres travaux internationaux réalisés dans des conditions normalisées, ce qui n'a pas toujours été le cas des essais comparatifs qui ont été rendus publics.

## **8. Règles techniques relatives au équipements**

L'élaboration de règles techniques de certification des différents appareils téléphoniques mobiles et stations de base relève de la compétence de l'Autorité de Régulation des Télécommunications (ART). Cependant la directive R et TTE (Directive n°99-5 CE du Parlement et du Conseil du 3 mars 1999 relative aux équipements hertziens et aux équipements terminaux de Télécommunication et à la reconnaissance mutuelle de leur conformité) n'ayant pas encore été

---

<sup>9</sup> Contribution de M. Bach-Andersen, à la demande du groupe d'experts (Université d'Aalborg, Danemark).

transposée en droit français, le marquage CE des terminaux et des stations de base se fait actuellement en France sans support législatif ou réglementaire et sans norme harmonisée au niveau européen, en se fondant en général sur la recommandation du Conseil de l'Union Européenne du 12 juillet 1999.

Un premier projet de norme de base technique harmonisée du CENELEC TC 211, concernant la mesure du débit d'absorption spécifique, relatif à l'exposition des personnes aux champs émis par les téléphones mobiles a été mis en consultation au cours des derniers mois. L'enquête probatoire a pris fin le 5 octobre 2000, cette norme ne pourra donc être publiée avant les premiers mois de 2001. Ce projet dont la parution était prévue en juin 2000 a été retardé par une procédure d'harmonisation avec la norme américaine IEEE, ce qui permettra d'obtenir une véritable norme internationale et donc des résultats de mesures comparables fondés sur des protocoles comparables. Un autre projet de norme produit relatif à la mesure de conformité des téléphones mobiles a été mis en circulation par l'UTE en France le 17 mars 2000. Il a également été soumis à enquête probatoire jusqu'au 5 octobre 2000. Cette norme produit devrait paraître avec la norme de base technique relative à la mesure du débit d'absorption spécifique au début de 2001 et être transposée en norme française.

Une norme relative à la vérification de conformité des stations de base (en laboratoire) est en cours de circulation au sein des comités techniques du CENELEC et devrait être bientôt mise en enquête probatoire. Sa parution n'est pas attendue avant la fin de 2001.

Un projet de norme relatif aux mesures des stations de base in situ est en cours d'élaboration ; cependant il n'existe pas encore de document consolidé, compte tenu de la relative difficulté technique de telles mesures. Parallèlement, l'Agence Nationale des Fréquences élabore actuellement un protocole de mesure en se fondant sur les dispositions de la recommandation du 12 juillet 1999, utilisant un analyseur de spectre et une antenne à bande étroite. Les mesures réalisées avec une sonde isotrope apparaissent trop imprécises et non représentatives de la station de base que l'on prétend mesurer, puisqu'elles sont sensibles à l'ensemble des sources du spectre de radiofréquence, sources dont le niveau de champ est parfois largement supérieur à celui de la station de base considérée isolément. Dans l'attente de la publication d'une norme européenne harmonisée, cette procédure de mesure des stations de base élaborée par l'ANFR, très demandée par les acteurs du domaine, pourrait servir de méthode de référence en France. Une telle méthode de référence est actuellement indispensable. Ainsi, des résultats de mesure, dont certains ont été publiés dans la presse, ont été obtenus en se fondant sur des protocoles insuffisamment validés, parfois avec du matériel inadapté, ce qui peut conduire à des valeurs irréalistes. Certains organismes de contrôle technique privés se lancent actuellement sur ce marché porté par les craintes de la population ; ils rendent des résultats parfois aléatoires, en tout cas difficilement comparables et vérifiables. Pour l'avenir, il est indispensable de disposer au plan national d'un organisme de contrôle de référence, qui pourrait être l'ANFR, et qui serait en mesure d'agréeer ou certifier des organismes de contrôle technique chargés des mesures et se conformant à une procédure de mesure standardisée.

### III- LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION DES PERSONNES AUX CHAMPS LIES AUX RADIOFREQUENCES : LES PRINCIPES ACTUELS DE LA GESTION DES RISQUES

Les valeurs limites d'exposition adoptées par le Conseil de l'Union européenne en 1999 résultent d'un long processus qui prend son origine dans le travail de groupes d'experts. Des recommandations ont été établies par des comités de scientifiques et d'ingénieurs d'origine universitaire, industrielle et gouvernementale. Les plus connues sont celles de l'IEEE de 1991 et de l'ICNIRP en 1998.

Les risques de l'exposition aux champs électromagnétiques en général et plus particulièrement radiofréquences (RF) sont évalués à partir d'une revue exhaustive de la littérature sur leurs effets biologiques. Sur cette base scientifique, l'établissement de valeurs limites d'exposition part des effets considérés, à un moment donné, comme les plus sensibles (c'est-à-dire qui apparaissent au plus bas niveau d'exposition testé, et qui sont jugés pertinents d'un point de vue sanitaire). À cette valeur est appliqué un ensemble de coefficients d'abattement destinés à prendre en compte les incertitudes et à disposer d'une certaine 'marge de sécurité'. Des ré-évaluations de ce corps de connaissances, et des recommandations de valeurs limites d'exposition qui en découlent, sont régulièrement pratiquées; la base de l'OMS concernant les études récentes ou en cours comporte plus de 1400 articles scientifiques.

L'avis général des comités est que l'effet néfaste trouvé chez l'animal au plus faible niveau d'exposition était une altération du comportement chez le macaque et des rongeurs. Une telle altération consiste le plus souvent en une difficulté ou une inhibition complète de la réalisation d'une tâche complexe d'apprentissage sous exposition à une quantité suffisante d'énergie RF. Les résultats expérimentaux indiquent qu'il s'agit clairement d'un effet thermique : cette altération se produit lorsque la puissance absorbée dans le corps, à la suite d'une exposition du corps entier, quantifiée par le débit d'absorption spécifique (DAS), atteint ou dépasse un seuil de 4 W/kg de poids corporel. Prenant en compte un facteur 10 'de réduction', la valeur de 0,4 W/kg a été proposée comme limite recommandée pour les expositions professionnelles, pour une exposition 'corps-entier'. Ce paramètre qui conditionne l'existence d'un effet biologique pouvant être jugé comme néfaste pour la santé constitue dans le langage des recommandations une "*restriction de base*". Un facteur d'abattement de 5 supplémentaire a été introduit pour la population générale, afin de tenir compte de l'absence de contrôle que des personnes non informées ont sur leur environnement, de la possibilité de sensibilités variables en fonction de l'état physiologique ou pathologique des individus. La valeur ainsi déterminée pour l'exposition du corps soumis en entier dans le champ d'exposition est de 0,08 W/kg.

Des considérations dosimétriques ont montré que lors d'une telle exposition, certaines zones restreintes de l'organisme pouvaient absorber localement une puissance jusqu'à 25 fois supérieure. Il en a été conclu que le débit local d'absorption spécifique DAS local ne devait pas dépasser 2 W/kg pour la tête et le tronc, dans lesquels se trouvent des organes fonctionnels vitaux (coeur, poumons, intestins), et 4 W/kg pour les tissus plus périphériques que sont les membres. La limite d'exposition 'locale' n'est donc pas fixée directement en fonction d'effets biologiques constatés, mais indirectement à partir d'effets observés à la suite d'une exposition 'corps entier', selon une extrapolation dosimétrique.

Le DAS n'est pas une valeur facilement accessible à la mesure ; il a donc été nécessaire d'établir à l'aide "d'équations de transfert" les valeurs de champ électrique ou magnétique susceptibles de produire dans le pire cas les DAS précédemment définis lorsqu'un individu est soumis à ce champ. Ces valeurs de champ qui peuvent être mesurées sont appelées dans le langage des recommandations des "*niveaux de référence*". Comme l'absorption dépend fortement de la fréquence, les valeurs de

référence varient en fonction de la fréquence. En ce qui concerne la téléphonie mobile, les valeurs de champ électrique susceptible de produire un DAS de 0,08 W/kg chez un individu entièrement plongé dans le rayonnement sont de 41 et 58 V/m respectivement aux fréquences de 900 et 1800 MHz<sup>10</sup>, ce qui correspond à des valeurs de densité de puissance, respectivement de 4,5 et 9 W/m<sup>2</sup>. Par rapport aux 'restrictions de base', les 'niveaux de référence' incorporent donc une marge de sécurité supplémentaire du fait de leur procédure de calcul qui adoptent des hypothèses pénalisantes assurant que les restrictions de base sont respectées, même dans les situations les plus péjoratives, lorsque le champ émis est inférieur ou égal aux niveaux de référence.

L'OMS a repris ces recommandations de l'ICNIRP, ainsi que le Conseil de l'Union européenne, qui les a exprimées dans la recommandation 1999/519/CE du 12 juillet 1999<sup>11</sup>.

En résumé, les normes actuelles comportent trois systèmes 'de sécurité' : (1) le fait de prendre, comme base de calcul, le type d'effet biologique jugé le plus sensible ; (2) l'ampleur des coefficients d'abattement retenus; (3), la conversion des restrictions de base en niveaux de référence.

On notera cependant que le système des coefficients d'abattement retenus est plus restrictif que ce qui a cours pour les valeurs limites d'exposition aux substances chimiques. Dans ce cas, partant de la Dose Minimale entraînant un Effet Nocif Observé, le plus souvent chez l'animal (DMENO, ou 'LOAEL' en anglais), un premier facteur d'abattement (de 2 à 10 selon le type d'effet observé) permet d'estimer une Dose Sans Effet Nocif Observé (DSENO, ou 'NOAEL'). Un facteur de transposition de l'animal à l'homme (souvent 10) est alors appliqué, suivi d'un nouveau coefficient (souvent 10) pour tenir compte de la sensibilité particulière de certaines personnes. Au total, un coefficient d'abattement pouvant aller jusqu'à 1000 est ainsi appliqué entre la DMENO chez l'animal et la valeur limite d'exposition de la population générale, alors que cette cascade de coefficients représente un abattement de 50 dans le cas des champs électromagnétiques. Cela traduit le fait que le degré d'incertitude scientifique est jugé plus faible que ce qui prévaut pour nombre de toxiques chimiques, au sein des instances qui procèdent à l'établissement des recommandations pour les champs.

---

<sup>10</sup> Bien que ce ne soit pas aussi facilement transposable, un calcul simplifié indiquerait pour une exposition locale de la tête et du tronc, des valeurs de champ électrique de 205 et 290 V/m.

<sup>11</sup> Journal Officiel des Communautés européennes, L 1999/59 du 30 juillet 1999

## IV- L'ETAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES : ANALYSE DES RAPPORTS ET DES DOCUMENTS RECENTS CONCERNANT LES TELEPHONES MOBILES ET LA SANTE

### A- Les rapports de base

#### *ANALYSE DU RAPPORT ARCS (AUSTRIAN RESEARCH CENTER SEIBERSDORF)<sup>12</sup>*

Le Centre de Recherche Seibersdorf est, en Autriche, le plus important établissement de recherche hors l'Université. Il a déjà produit, pour le gouvernement ou par contrat avec des entreprises industrielles, plusieurs rapports sur les effets biologiques des champs électromagnétiques (rapports NIR I à V entre 1985 et 2000). Le présent rapport constitue la synthèse ('executive summary') du rapport NIR V portant sur les CEM-RF. Publié en mai 2000, il traite successivement de l'origine et de la nature des CEM, des résultats des travaux expérimentaux et épidémiologiques, avec un accent particulier sur ceux relatifs au cancer, des interférences électromagnétiques avec les implants médicaux, puis des réglementations nationales et internationales.

#### 1. Etudes concernant le système nerveux et les comportements

##### a- Etudes chez l'animal

*Conclusions résumées* : on a retrouvé des effets dégénératifs sur l'œil et des changements de l'EEG après exposition à des champs modulés, mais ces résultats sont inconstants et ces études doivent être répliquées.

- L'EEG : Trois publications sont discutées, concernant le rat, le chat ou la grenouille. Cette dernière utilise des expositions très élevées, et hors sujet (DAS de crête voisin de 100 à 3000 W/kg). L'EEG apparaît modifié pour des champs pulsés de fréquence 950 MHz, avec une densité de puissance de 15 W/m<sup>2</sup>, mais pas pour 3 W/m<sup>2</sup>.
- L'œil : Les résultats de quatre études concernant les effets fonctionnels ou histopathologiques d'une exposition unique ou répétée de singes sont décrits. Les densités de puissance sont très élevées, de l'ordre de 300 à 430 W/m<sup>2</sup>, pour des fréquences de 1250 et 2450 MHz, avec des DAS de 4 à 20 W/kg<sup>13</sup>. Trois auteurs trouvent des anomalies cornéennes ou rétiniennes après expositions répétées, ou des altérations fonctionnelles, tandis que le quatrième retrouve ces résultats après exposition unique pour un DAS de 8 ou 20 W/kg, mais non de 4 W/kg.

##### b- Etudes chez l'homme

*Conclusions résumées* : des modifications de l'EEG ont été retrouvées par certains auteurs, mais pas par tous. Des réductions de temps de réaction ont été rapportées. Un raccourcissement du temps d'endormissement et de la durée du sommeil paradoxal a aussi été décrit, mais non confirmé au cours de deux études de réplification par les mêmes auteurs. Ces résultats sont inconstants et demandent à être répliqués. Au total, ces effets modestes ne semblent pas altérer le bien-être.

---

<sup>12</sup> OEFZS-E-0016 December 2000. Studie dokumentierter Forschungsergebnisse über die Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder. B. Kunsch et al.

<sup>13</sup> le rapport ne précise pas s'il s'agit de DAS locaux ou corps entier

- L'EEG présente diverses modifications dans huit études, alors que cinq auteurs ne retrouvent pas d'altérations électro-encéphalographiques, selon des conditions expérimentales diverses (téléphones mobiles analogiques ou digitaux ; EEG de repos ou de veille, avec ou sans stimulation visuelle ou acoustique ; exposition continue ou intermittente ; densité de puissance variant de 0,2 à 50 W/m<sup>2</sup>...).
- Le sommeil pourrait manifester, dans une étude, des effets pour un DAS local (tête) de 1 W/kg, avec un raccourcissement des éveils nocturnes, conscients ou non, accompagnant une modification de l'intensité de l'EEG lors des phases de rêve.
- Les performances cognitives et les temps de réaction montrent des modifications variées dans deux études, avec des modestes raccourcissements des temps d'exécution de tâches appelant la vigilance, mais ces résultats pourraient être expliqués par un effet thermique de faible amplitude. Dans deux autres expériences, les tests ne montrent pas de différence selon l'exposition.

Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le système nerveux et le comportement : *Les principales leçons tirées du rapport sont que les protocoles expérimentaux suivis sont très variés et difficilement comparables, tant chez l'homme que chez l'animal. Si des modifications physiologiques et du comportement semblent présentes de manière répétée, ces observations ne sont pas encore concluantes, par manque de réplication dans les mêmes conditions expérimentales. Le caractère 'menaçant' de ces modifications est de toute façon loin d'être établi. Les effets sur l'oeil méritent des travaux complémentaires, pour des niveaux de champs plus conformes à ceux mesurés lors de l'usage de téléphones mobiles. Malgré les limites de ce rapport, ces conclusions sont fondées sur l'examen d'un vaste ensemble d'études.*

## 2. Études concernant le cancer

### a- Études expérimentales

*Conclusions résumées* : globalement, les travaux n'apportent pas d'élément convaincant en faveur d'un risque de cancer. La pertinence des études publiées, du point de vue du risque de cancer pour l'homme, n'est pas établie. Les CEM-RF n'ont pas d'effet génotoxique in vitro et in vivo, du moins dans des conditions n'entraînant pas d'effet thermique. Des effets indirects modestes sur la réplication et/ou la transcription de gènes seraient cependant observés dans certaines conditions particulières d'exposition, sans que les conséquences pour la santé puissent en être tirées en l'état actuel des connaissances.

- Un effet génotoxique a été étudié in vitro et in vivo. Bien que la majorité des études soient négatives, une augmentation des cassures d'ADN dans des cellules du cerveau de rat a été décrite, après exposition à un CEM-RF de 2 450 MHz émis par impulsions intenses et brèves, mais ce résultat n'a pu être reproduit par d'autres auteurs. Des cassures d'ADN ont aussi été observées dans une lignée cellulaire radiosensible, pour des champs modulés voisins de 813 MHz mais non à 836 MHz et un DAS entre 2,4 et 26 W/Kg, suggérant que des processus de réparation de l'ADN, qui n'ont pas été étudiés jusqu'à présent, pourraient jouer un rôle. Des aberrations chromosomiques ont été rapportées dans des lymphocytes humains soumis au champ d'une antenne d'une station de base GSM, mais le même auteur n'a pu répliquer ce résultat. En revanche, le test des micronoyaux semble sensible, chez la plante (exposition à un champ de fréquence 10 à 21 MHz) et le lymphocyte humain (9 GHz) ; ces gammes de champs sont éloignées

de celles utilisées en téléphonie mobile, et ces résultats doivent être reproduits pour des expositions plus réalistes.

- L'activité de l'enzyme intracellulaire ODC (ornithine décarboxylase) a été augmentée dans plusieurs expérimentations avec un champ à modulation d'amplitude mais pas à modulation de fréquence ou non modulé. En raison du rôle possible de l'ODC dans les processus de promotion et de progression, cela pourrait pointer sur des mécanismes épigénétiques de cancérogénèse, mais ces travaux demandent encore à être répliqués.
- Les travaux sur l'expression des proto-oncogènes (gènes impliqués dans les processus de régulation de la prolifération et de la différenciation cellulaire) n'ont pas produit de résultats univoques, malgré quelques expérimentations 'positives' (cellules de neuroblastomes, 915 MHz). Les résultats concernant la prolifération cellulaire sont contrastés : sur 7 publications commentées, 2 rapportent une prolifération cellulaire augmentée, pour des DAS allant de 5 à 81 W/Kg, 3 autres ont montré une inhibition de la croissance cellulaire (7 700 MHz ou 960 MHz GMS, ou 835 MHz non modulés). Des études antérieures ayant mis en évidence un possible effet sur le flux transmembranaire de calcium n'ont pas été confirmées par des travaux récents.
- Des essais d'initiation et de promotion tumorale ont été réalisés et sont décrits au travers de 9 études. Parmi celles-ci, l'étude de Repacholi et al (1997) a montré une augmentation du nombre de lymphomes dans une lignée de souris génétiquement sensibles, après exposition pendant 18 mois à un CEM-RF de 900 MHz modulé à 217 Hz. Les résultats de ce travail sont discutés, pour relever les problèmes d'interprétation liés aux conditions hétérogènes d'exposition des souris ; des réplifications sont en cours, avec un plan expérimental mieux contrôlé. Les autres études présentées sont négatives, y compris celles s'intéressant à l'effet conjoint des champs avec des cancérogènes initiateurs (diéthylnitrosamine) ou promoteurs (l'hydrocarbure aromatique polycyclique benzo-a-pyrène).

#### b- Etudes épidémiologiques

*Conclusions résumées* : La plupart des études, aux protocoles variés, ont caractérisé improprement l'exposition aux CEM-RF ; certaines ont une taille insuffisante ou manquent d'informations sur des facteurs de confusion potentiels. Les travaux actuels ne sont pas concordants du point de vue du type de cancer susceptible d'être associé aux champs. Du fait de ces limites, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de conclure sur la réalité d'un risque de cancer pour la population générale, lié aux CEM-RF.

Le rapport passe d'abord en revue, pour ce chapitre particulièrement sensible, les critères retenus pour apprécier la qualité des travaux épidémiologiques. Ces critères sont ceux habituellement considérés par la communauté des épidémiologistes. Huit études sont présentées, dont 4 concernent des expositions professionnelles aux CEM-RF. Parmi ces dernières, l'une concerne des personnels de l'armée polonaise exposés à des gammes de fréquences de champs très larges (150 à 3500 MHz)<sup>1</sup> – étude dont les résultats sont mis en opposition avec d'autres travaux conduits en milieu militaire, notamment parmi les personnels de la marine américaine -, une autre s'intéresse à des policiers canadiens exposés à des champs radar, tandis que la troisième a porté sur des opératrices radio et télégraphe norvégiennes de la marine marchande (champs de fréquences 405 à 25 000 MHz)<sup>14</sup>. Les résultats de ces trois études, pour lesquelles les expositions sont très variées, caractérisées par les profils de poste plus que par des (rares) mesures personnelles, ne sont guère extrapolables à la situation de la téléphonie mobile ; on notera cependant que les cancers qui sont reliés aux CEM sont de types divers (leucémies, lymphomes, mélanomes malins, prostate et testicules, sein et utérus).

---

<sup>14</sup> Données complémentaires extraites de l'article de Elwood, Environ Health Perspect, 1999 (cité dans le rapport de l'ARCS)

Trois études ont été initiées par la survenue de cas agrégés (coïncidence de cas dans l'espace ou le temps, 'cluster' en anglais). Il est bien reconnu que si l'occurrence groupée dans le temps et l'espace de cas de maladie peut permettre de suggérer l'existence d'une cause commune, et donc conduire à la réalisation d'études épidémiologiques de confirmation, elle ne peut en aucun cas autoriser une conclusion définitive. L'un des agrégats s'est produit en Grande Bretagne, au voisinage d'une station émettrice de radio et de télévision, avec un apparent excès de leucémies de l'adulte. Une tendance à l'accroissement de l'incidence de lymphomes, de mélanomes cutanés et de cancers de la vessie a été suggérée parmi la population résidant à moins de 10 km de la station, mais pas pour l'ensemble des cancers ni pour les leucémies de l'enfant. Une analyse des cancers autour de 20 stations de Grande Bretagne a été réalisée par la même équipe, à la suite de ce travail ; les résultats ne montrent pas d'excès de cancer de la vessie, de leucémies de l'adulte ou de mélanomes, ne confirmant pas les résultats de l'étude initiale. Un travail similaire a été mené autour de 3 émetteurs de Galles du Sud, en Australie. Parmi 6 municipalités distantes à moins de 12 km, un excès de leucémies de l'enfant a été trouvé pour les zones à moins de 4 km, mais pas de cancers du cerveau chez l'adulte ou l'enfant. Etendue à d'autres municipalités proches, ces résultats ne sont pas retrouvés, sauf pour une municipalité où les leucémies de l'enfant sont plus fréquentes.

Une étude cas-témoins conduite en Suède suggère un lien non significatif entre la présence d'une tumeur du cerveau (cancéreuses ou bénignes) et l'usage d'un téléphone mobile analogique du même côté du crâne ; les données étaient insuffisantes pour les téléphones digitaux GSM, de technologie plus récente. En revanche, aucune association n'est trouvée avec l'usage d'un mobile, si l'analyse ne prend en compte le côté du cancer. Ces résultats reposent sur un petit nombre de cas et nécessitent donc confirmation, selon le rapport et les auteurs de l'étude (voir en annexe les différentes lectures faites de ce travail [Hardell et al 1999], dans divers articles et rapports de synthèse).

Une étude a comparé les causes de décès parmi les utilisateurs de téléphones mobiles et de téléphones 'mains libres' de voiture (dont l'antenne est éloignée du crâne). Aucune différence de taux de décès n'a été montrée, au bout d'un an d'utilisation –ce qui est un temps très court- alors que la mortalité parmi les utilisateurs était moindre que dans la population générale, sans doute en raison de différences socio-démographiques.

Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le cancer : *L'ancienneté de l'utilisation des téléphones mobiles n'est pas grande, ce qui limite considérablement la portée des études épidémiologiques, les latences habituellement décrites pour les cancers excédant 10 ans (elle peut être plus courte pour les leucémies, et pour les cancers de la thyroïde, ces derniers n'étant pas concernés ici, ou si les processus cancérogènes en cause procèdent de la promotion ou de la progression, hypothèse reprise par le projet international du CIRC). Lorsque les risques sont faibles (Risques relatifs inférieurs à 2, en pratique), la qualité de la caractérisation de l'exposition est d'une importance capitale pour pouvoir discriminer convenablement les différents groupes. Les études présentées sont à cet égard assez sommaires, comme cela est dit dans ce rapport. La liste n'est cependant pas exhaustive ; celles qui n'ont pas été prises en compte ne portent pas, pourtant, un message différent.*

*La considération à la fois des données scientifiques expérimentales, in vitro et in vivo, et des travaux épidémiologiques, n'apporte pas d'évidence concluante d'un risque vis à vis du cancer, comme le rapporte le document de l'ARCS. La poursuite des recherches est cependant pleinement justifiée car si le risque de cancer par des mécanismes génétiques ne semble pas appuyée par les données présentées sur la génotoxicité des CEM-RF, des mécanismes épigénétiques ne peuvent être exclus en l'état actuel du dossier.*

### **3. Etudes concernant le système cardio-vasculaire**

*Conclusions résumées :* Le sens que l'on peut donner aux rares données disponibles est très incertain.

Une étude n'a pas retrouvé de modification des 12 paramètres mesurés du rythme cardiaque et du profil électrocardiographique après exposition à un champ GSM900. Pour la même exposition, une autre étude retrouve un accroissement de la pression sanguine diastolique et systolique de repos, avec un rythme cardiaque diminué, mais le rapport souligne que cette étude n'a pas alloué aléatoirement les périodes d'exposition réelle et placebo, ce qui en limite l'interprétation.

**Commentaires du groupe d'experts concernant le système cardiovasculaire :** *les études sont en nombre limité ; ces données ne permettent pas de conclure.*

### **4. Etudes concernant la reproduction et le développement**

*Seules deux études chez des rongeurs sont décrites, suggérant une réduction du poids de naissance de la descendance, mais ces résultats sont jugés limités par la qualité des protocoles d'exposition. Les auteurs ne rapportent pas d'effet tératogène .*

Commentaires du groupe d'expert concernant la reproduction et le développement : *les études sont en nombre limité ; ces données ne permettent pas de conclure. Ce registre biologique, particulièrement sensible, nécessite des études expérimentales.*

### **5. Etudes concernant le système immunitaire**

Les investigations concernant le système immunitaire sont assez rares. Trois études sont discutées dans le rapport, dont deux concernent des rongeurs. La première trouve, de manière inexplicée, des modifications de paramètres immunitaires chez la souris mâle mais non femelle pour un champ de 2 450 MHz à modulation de fréquence ou sans modulation, tandis que la seconde (GSM900) ne retrouve aucun effet sur différents lymphocytes de rats. La dernière étude concerne une exposition professionnelle (personnel utilisant des appareils de diathermie), sans effet observable.

Commentaires du groupe d'expert concernant l'immunité : *les études sont en nombre limité mais ne sont pas en faveur d'un effet des CEM-RF sur l'immunité.*

### **6. Etudes concernant les interférences avec les implants biomédicaux**

*Conclusions résumées :* Une attention plus forte devrait être portée aux interférences électromagnétiques entre les CEM-RF et les dispositifs électroniques biomédicaux implantés. Malgré diverses prescriptions techniques, l'accroissement régulier du nombre de sources entraîne la

multiplication des scénarios d'interférence. De nouveaux tests de compatibilité électromagnétique doivent être mis au point.

- Stimulateurs et défibrillateurs cardiaques. Les technologies utilisées les plus récentes présentent un potentiel élevé de perturbations du fait des impulsions de basse fréquence qui leur sont associées, dont le spectre est proche de celui des signaux électriques cardiaques. Des études *in vitro* (implants actifs non portés par des personnes malades) ont montré que les téléphones digitaux, plus que les analogiques, peuvent influencer un grand nombre des divers types de pacemakers testés, à courte distance. Les défibrillateurs cardiaques, installés chez des personnes souffrant de tachycardies et de fibrillations posent les mêmes problèmes. Au delà de 20 cm en revanche, aucun appareil n'a été perturbé. Des résultats semblables ont été observés avec des volontaires porteurs de pacemakers, pour des distances inférieures à 15 cm entre l'antenne et l'implant.

En conséquence, il est recommandé aux personnes portant un pacemaker de le porter à plus de 15 cm de leur mobile, et de mettre celui-ci, lors d'un appel, sur l'oreille opposée au côté du pacemaker. Moyennant ces mesures, l'usage des téléphones mobiles devrait être sans risque. Des précautions doivent aussi être prises lors du passage à travers les dispositifs électroniques de sécurité installés à la sortie de certains magasins. Les personnes concernées ne devraient pas séjourner entre les bornes, mais passer rapidement à travers ces dispositifs, en évitant de raser leurs antennes.

- Neurostimulateurs. Ces implants sont utilisés pour soulager les personnes atteintes des tremblements de la maladie de Parkinson. Des tests sur différents mobiles à 900 MHz n'ont pas montré de perturbations des impulsions, semble-t-il parce que ces implants ne sont pas conçus pour réagir à des signaux physiologiques, contrairement aux pacemakers.
- Prothèses auditives. L'interférence électromagnétique conduit à des bruits désagréables.

Commentaires du groupe d'expert concernant les interférences électromagnétiques avec les implants médicaux : *le rapport met en lumière la nécessité de développer fortement la recherche sur la compatibilité électromagnétique, en raison de l'accroissement prévisible des sources de champs et du nombre d'implants dans la population générale. La sécurité des implants doit être améliorée, et l'information des personnes concernées assurée afin qu'elles puissent prendre des dispositions visant à limiter leurs expositions.*

## 7. Autres effets

*Conclusions résumées* : Ces différents travaux appellent de nouvelles investigations, notamment auprès de personnes *a priori* plus sensibles (personnes âgées ou sujets déclarant des symptômes de mal être). La signification sanitaire des effets endocriniens mesurés n'est pas claire.

Lors d'expérimentations avec des volontaires, des faibles variations transitoires des concentrations sanguines de diverses hormones (cortisol ou thyrotropine) ont été retrouvées dans deux études, l'une avec un plan d'exposition de 2 h/j sur 5 jours, l'autre au cours d'une nuit (GSM900).

Divers troubles subjectifs ont été ressentis par des utilisateurs de téléphones mobiles (maux de tête, sensation locale de chaleur, fatigue...). Une étude a été conduite en Suède et en Norvège auprès d'utilisateurs d'appareils GSM et d'appareils analogiques. Cette étude épidémiologique transversale montre une fréquence plus élevée de troubles ressentis pour ces derniers, qui pourrait être reliée aux champs plus élevés émis, et à un effet thermique dû au courant plus important des batteries.

Une autre enquête transversale a été réalisée par interview auprès de populations résidant au voisinage d'un émetteur d'ondes courtes en Suisse. Les plaintes sont plus fréquentes proches de

l'émetteur (nervosité, insomnie, fatigue...); les auteurs reconnaissent qu'il est difficile de conclure que ces manifestations sont dues aux CEM plutôt qu'aux craintes du public.

Commentaires du groupe d'expert concernant ces autres effets : *Les CEM-RF pourraient avoir des effets sur certaines fonctions hormonales sans qu'on puisse, en l'état, dire s'il s'agit d'effets physiologiques d'adaptation ou de signes indicateurs de risques pour la santé. Des travaux devraient être conduits prioritairement sur des personnes a priori plus sensibles, par exemple des personnes prenant des médicaments psychotropes, ayant des antécédents d'épilepsie ou de migraines.*

Conclusion générale du groupe d'expert sur le rapport ARCS : *bien que très récent, ce rapport présente une synthèse moins détaillée que les documents canadien et britannique. Le rapport complet dont ce document constitue le résumé, n'a pas été consulté. La bibliographie citée ne paraît pas exhaustive, et les critères retenus pour sélectionner les travaux et les critiquer ne sont pas toujours explicites. Les conclusions des auteurs sont cependant en concordance avec les documents précités. Ce rapport est par ailleurs intéressant, en référence aux autres documents de synthèse passés en revue, par l'attention portée aux risques liés aux interférences électromagnétiques, et par les recommandations faites aux porteurs d'implants et de prothèses électroniques.*

## ***ANALYSE DU RAPPORT STEWART<sup>15</sup>***

Le rapport Stewart a été rédigé à la demande du gouvernement britannique pour évaluer les effets éventuels sur la santé des téléphones mobiles, des stations de base et antennes relais. Le comité d'experts était constitué de 12 personnes d'horizons divers et de 3 observateurs externes ; il comprenait des spécialistes en cancérologie, en physique, statistique et neurophysiologie, un membre de l'OMS, 2 membres du groupe consultatif du NRPB (National Radiological Protection Board), 2 membres de culture non scientifique (politique et communication sociale). Les observateurs faisaient partie du NRPB, du Ministère de la Santé et du Ministère du Commerce et de l'Industrie. Le comité d'experts a décidé d'organiser un vaste programme de consultations, au Royaume-Uni et à l'étranger ; de scientifiques, de membres du public, de groupes tels que "Friends of the Earth", Powerwatch, the Northern Ireland Families Against Telecommunications Transmitter Towers, de compagnies liées à la téléphonie mobile, des opérateurs, et de la Fédération des Industries Electroniques. Il s'est également appuyé sur les articles de presse, et sur les réunions publiques régionales (5), considérant extrêmement important d'être pleinement conscients des réactions et sensibilités d'une large part de la population. Des avis ont été diffusés dans des journaux nationaux et des journaux scientifiques pour inviter des individus ou des organisations à présenter leur point de vue argumenté. De nombreux avis ou informations ont été reçus par écrit. Un certain nombre d'individus et d'organisations (28) ont été invités à présenter leur point de vue dans des réunions restreintes du comité. L'établissement d'un risque sanitaire de l'exposition aux champs RF dépend d'études scientifiques bien conduites et reproductibles. C'est d'autant plus important que les effets aux niveaux produits par les télécommunications mobiles sont vraisemblablement faibles. De telles études sont principalement publiées dans les revues "à comité de lecture" ; cependant le comité d'experts a considéré toutes les sources d'information dont il a pu avoir connaissance.

Le rapport comprend cinq parties et trois annexes :

- Partie 1 : Résumé et recommandations
- Partie 2 : Introduction sur le développement des télécommunications mobiles
- Partie 3 : Perceptions publiques et inquiétudes
- Partie 4 : Bases physiques de la téléphonie mobile
- Partie 5 : "Evidence" scientifique : Mécanismes d'interaction avec les tissus biologiques, Etudes expérimentales in vitro et chez l'animal, Etudes chez l'homme en laboratoire et épidémiologiques, Conduite automobile
- Annexes : Financement actuel de la recherche, Approche de Précaution, Procédures actuelles de déploiement du réseau, Références bibliographiques, Glossaire, Constitution du Groupe d'Experts, Contributions écrites (174), Réunions publiques (5) et restreintes.

### 1- Etudes in vitro et chez l'animal

#### **Etudes concernant le système nerveux et le comportement**

L'indicateur le plus sensible qui aie pu être défini comme nocif pour la santé lors ou au décours d'une exposition aux champs électromagnétiques est le **comportement**, qui peut être altéré bien avant que n'apparaissent des lésions anatomiques pour des fortes expositions. Des tests comportementaux permettent de plus d'évaluer des fonctions cérébrales comme la mémoire ou d'autres fonctions cognitives. Une grande partie des travaux, en particulier par le passé, a été réalisée avec des champs de forte intensité, ou avec des émissions par impulsions de faible puissance moyenne, mais avec une puissance crête élevée, qui correspondent aux caractéristiques des radars.

Commentaires du groupe d'experts : *les émissions en téléphonie mobile peuvent être ou non sous forme d'impulsions, mais la puissance moyenne n'est pas très inférieure à la puissance crête ;*

---

<sup>15</sup> Mobile Phones and Health. Report from the Independent Expert Group on Mobile Phones, mai 2000

typiquement, dans le système européen GSM (Global System for Mobile communications), elle est 8 fois inférieure ; dans les radars, ce rapport est habituellement de 1000.

Des modifications des **flux de calcium** ont été observées, corroborées en amont ou en aval par différents phénomènes :

- une diminution du taux de formation des canaux membranaires spécifiques de l'ion calcium,
- une diminution de fréquence de l'ouverture de ces canaux,
- une augmentation des bouffées de potentiels d'action spontanés.

Le calcium est associé dans le cerveau à l'activité de certains récepteurs spécifiques d'une molécule de communication entre les neurones : le GABA, et plus précisément, dans le cortex et l'hippocampe, à des phénomènes de potentialisation à long terme, qui sont à la base du processus de mémorisation. Parmi les mécanismes explorés, il a été montré *in vitro* une transition de phase des lipides membranaires facilitée par des CEM-RF de faible intensité, mais ce phénomène se produisant à des températures comprises entre 17,7 et 25°C ne semble pas pouvoir être considéré chez l'homme à température physiologique. De nombreux autres travaux n'ont pas retrouvé de modification du potentiel transmembranaire, des potentiels d'action, ou des courants calciques ou potassiques (36 articles et 2 revues).

Plusieurs études ont montré un effet sur les **neurotransmetteurs** ou leur métabolisme ; les travaux de Lai sont cités à ce propos, et le rapport Stewart suggère que la modification du métabolisme de l'acétylcholine puisse être liée à une sensibilité thermique de l'hypothalamus<sup>16</sup> (7 articles).

Une étude a montré une modification de l'**activité enzymatique** de l'acétylcholinestérase, suggérant également un effet spécifique d'une modulation par impulsions à la fréquence de 16 Hz, mais aussi un effet « fenêtre » quant à l'amplitude du signal appliqué, qui n'a pas été étayé pour l'instant, ni indépendamment répliqué (10 articles).

Plusieurs études ont montré des modifications de l'**EEG**, mal caractérisées, de même que sont mal définis les paramètres qui déterminent leurs conditions d'apparition (7 articles). **L'apprentissage et la mémoire** de rongeurs peuvent être affectés à des niveaux de DAS corps entier de 2,5 à 8 W/kg, à l'origine d'un échauffement de 1°C; ces modifications sont corrélées à une augmentation d'un proto-oncogène impliqué dans la plasticité neuronale : le c-fos. La sensibilité de tels effets dépend de la fréquence et de facteurs environnementaux comme la température extérieure et l'humidité. Le seuil d'exposition entraînant un effet peut alors être abaissé, dans des conditions défavorables, à 1 W/kg. L'étude de Lai se distingue des autres avec une sensibilité à 0,6 W/kg. Wood a même montré sur un modèle *in vitro* de coupes épaisses d'hippocampe, une modification de la potentiation à long terme de 0,001 W/kg ! La méthodologie statistique de Lai paraît contestée (5.88) (9 articles, 1 revue).

Des effets décrits sur la **perméabilité de la barrière hémato-encéphalique** n'ont pas été confirmés indépendamment (7 articles, 1 revue).

Les phénomènes de **thermorégulation** sont mis en jeu lorsque le DAS est équivalent ou supérieur au taux de production d'énergie métabolique, de l'ordre de 1 W/kg, mais moins efficacement avec des rayonnements de fréquences inférieures à 10 GHz, car à charge thermique identique, les récepteurs cutanés, particulièrement impliqués dans la réponse thermique, sont alors stimulés moins efficacement (2 articles, 1 revue). **L'activité motrice** est ralentie pour atténuer la production de chaleur endogène, à partir de 1 W/kg à 2,45 GHz, à partir de 3 W/kg à 915 MHz. Il a également été rapporté une inhibition temporaire de l'activité motrice après 6 semaines d'exposition à 0,4 W/kg, qui se normalisait par la suite (1 revue, toujours la même : UNEP/WHO/IRPA, 1993).

---

<sup>16</sup> Commentaire du groupe d'experts : cette remarque est étonnante, car le DAS utilisé de 0,6 W/kg est habituellement considéré comme non thermique, y compris par Lai lui-même.

La **perception auditive** des impulsions micro-ondes est maintenant un phénomène bien caractérisé, qui peut se produire avec des impulsions d'une durée inférieure à 35  $\mu$ s lorsque l'énergie contenue dans l'impulsion est supérieure à 1 mJ/kg, soit un DAS-crête de l'ordre de 30 W/kg pendant l'impulsion. Ce phénomène peut générer un stress chez les animaux qui le perçoivent, qu'il est nécessaire de prendre en compte dans l'interprétation des effets observés. Il ne peut cependant pas se produire avec les paramètres de la téléphonie mobile (6 articles, 2 revues).

### Œil

Des effets sur l'**œil**, non confirmés, n'ont pu être observés qu'à des puissances crêtes très élevées (9 articles, 1 revue).

### Mélatonine

Une inhibition de la sécrétion de **mélatonine** a été fréquemment démontrée à basses fréquences, mais n'a pas été retrouvée aux fréquences radio, ni de 3 à 30 MHz, ni à 900 MHz chez le rat, ni à 900 MHz ou 1800 MHz chez l'homme (5 articles, 2 revues).

Commentaires du groupe d'experts sur les effets neurologiques et comportementaux : *La conclusion du rapport Stewart semble sous-estimer les travaux de Lai, attribués pour les neuro-transmetteurs à un effet thermique, ce qui ne nous paraît pas être le cas. S'il est vrai que les effets rapportés sur la mémoire n'ont pas été confirmés, ils constituent pourtant un ensemble cohérent de travaux et n'ont pas non plus été démentis. Mais ces effets ne sont cependant pas extrapolables à la situation de la téléphonie mobile principalement en raison de la forme du signal par impulsions brèves et puissance crête élevée, et de la possible influence de la perception auditive dans les effets obtenus.*

### Cancer et Génotoxicité

Les différentes phases de la cancérisation sont rappelées : initiation, promotion, progression. Le rôle de l'**enzyme ornithine décarboxylase** (ODC) dans la cancérogenèse est décrit : cette enzyme a un rôle clé dans le métabolisme des polyamines, qui stimulent à leur tour la synthèse de l'ADN, ainsi que la croissance et la différenciation cellulaire. Sa concentration et son activité sont augmentées dans les processus de cancérisation, après activation des gènes qui synthétisent cette enzyme. Quelques auteurs ont décrit une augmentation de l'activité de l'ODC au décours de l'exposition aux champs électromagnétiques : un doublement de l'activité sous exposition à des champs RF de faible intensité modulés en amplitude à basse fréquence, inférieure à 60 Hz. Aucune augmentation de synthèse d'ADN n'a accompagné cette augmentation d'activité. De plus, l'augmentation d'activité produite par des agents promoteurs identifiés est de l'ordre de 500. Cet effet peut donc en comparaison être qualifié de mineur.

Commentaires du groupe d'experts : *Les auteurs concluent à une augmentation de concentration de l'ODC, laquelle nous paraît devoir encore être confirmée. De même, après avoir indiqué dans le paragraphe précédent que des modifications de l'ordre de la promotion avaient pu être observées malgré une augmentation qualifiée de « relativement faible » (non quantifiée) d'activité de l'ODC, les auteurs estiment comme très improbable l'effet promoteur d'une augmentation de l'ODC. Bien que cet avis nous paraisse raisonnable, il est difficile d'avancer cette conclusion sans l'étayer par des arguments plus développés. Ils avancent également comme très improbable une synergie avec d'autres facteurs environnementaux sans présenter les fondements de cette hypothèse (9 articles, 1 revue).*

En ce qui concerne l'**expression des gènes**, le tableau 5.8 cite deux études apparemment positives : celle de Goswami et al. (1999) montrant une légère élévation de c-fos mais pas de c-jun ou c-myc à 0,6 W/kg, et celle de Ivaschuk et al. (1997) montrant une augmentation de c-jun mais pas de c-fos « aux plus hautes intensités » (5 mW/kg). Ces résultats sont dits « contradictoires », mais ils portent sur des modèles différents à des intensités différentes : s'il existait un mécanisme spécifique

des champs radiofréquences, ne pourraient-ils pas avoir un effet thermique « a minima » à 0,6 W/kg sur le gène c-fos et un effet spécifique à 5 mW/kg sur le gène c-jun ? (10 articles)

Des modifications de 10 à 20% de la **croissance cellulaire** ont été décrites sur des levures par Grundler (1992) avec des champs à 41-42 GHz, mais ces effets n'ont pas été retrouvés par Gos (1997). A faible puissance, Stagg a observé une augmentation de la synthèse d'ADN dans une « fenêtre » d'intensité à 6 mW/kg, tandis que Kwee et Raskmark ont trouvé une diminution de la prolifération. Les auteurs du rapport Stewart recommandent un complément aux travaux de Stagg (8 articles).

Il n'a pas été observé **d'effet mutagène** ni de lésion de l'ADN in vitro. Une fragilisation de l'ADN montrée in vivo par Lai d'après le test de comète, avec un signal très différent de celui utilisé en téléphonie mobile, et malgré quelques travaux complémentaires apparemment cohérents, n'a pas été retrouvé par plusieurs équipes. Deux travaux ont montré une augmentation des aberrations chromosomiques in vitro, et un in vivo. Les résultats sur les échanges de chromatides sœurs sont inconsistants, et l'apparition de micronoyaux, clairement négative in vitro, a quelquefois été décrite après exposition in vivo. Des conséquences sur la santé ne sont pas clairement envisageables.

**Les études d'incidence tumorale à long terme sont peu nombreuses et négatives (Chou et al., 1992), même sur des modèles présentant une forte incidence spontanée à cette affection comme les souris C3H/HeJ. Un effet copromoteur (« épigénétique ») a été montré par plusieurs équipes, et doit être plus complètement étudié, bien que de nombreuses autres équipes ne l'aient pas retrouvé. Enfin, les études sur la prolifération de tumeurs greffées sont négatives. Sur les 38 articles référencés, seuls 4 montrent une incidence augmentée de tumeurs, parmi lesquels 3 portent sur des niveaux de DAS élevés (amalgame sur les niveaux de puissance), tandis que le 4<sup>ème</sup>, celui de Repacholi (1997) nécessite une réplique qui est en cours dans 2 laboratoires différents (4 revues).**

### **Hématologie, immunologie et longévité**

A faible puissance, des effets de faible amplitude et transitoires ont été décrits sur le système hématologique et immunologique. Plusieurs études de longévité ne montrent pas d'effet, tandis qu'une autre montre une diminution de la durée de vie sous exposition 1 heure par jour durant la vie entière à 7 W/kg (10 articles, 1 revue).

### **Reproduction et développement**

Aucun effet n'a été observé sur la reproduction ; tout au plus, une légère augmentation d'activité a été décrite sur la deuxième génération avec des niveaux de DAS non négligeables. Une décroissance de la fertilité de rats mâles a été obtenue après exposition très prolongée à 2 W/kg, et une expérience sans contrôle adapté a indiqué une diminution de la fertilité de souris femelles positionnées près d'antennes de télé et radiodiffusion. Bien que cette expérience soit de mauvaise qualité, les implications qu'elle suggère sur la santé nécessitent des études complémentaires (17 articles, 3 revues).

### **Système cardio-vasculaire**

Il n'a pas été rapporté d'effets des RF de faible puissance sur le système cardio-vasculaire (4 articles).

**Commentaires du groupe d'experts sur les études animales et cellulaires: Quelques effets de copromotion nécessitent vérification. Les auteurs du rapport Stewart rapportent des lésions sur le tissu oculaire, mais ces lésions ont été produites avec des impulsions de très fortes intensités. Sont aussi rapporté des effets sur le système nerveux de rats. Les effets présentés sont de faible amplitude, et sont difficiles à interpréter en termes de biologie ou de santé; ils ne paraissent pas susceptibles d'altérer le fonctionnement cellulaire et d'entraîner un retentissement sur la santé.**

## 2- Etudes chez l'homme en laboratoire

### **Fonctionnement cérébral (3 articles)**

Parmi les interrogations suscitées par l'utilisation des téléphones mobiles, se trouve la possibilité que les champs qu'ils émettent aient des effets néfastes sur des fonctions cognitives telles que la mémoire, l'attention et la concentration. Cependant, à trois exceptions près, les études réalisées jusqu'à présent ont plutôt porté sur des mesures physiologiques de l'activité cérébrale comme l'électroencéphalogramme que sur des indices de performance cognitive à proprement parler.

Preece et al (1999) a appliqué un signal à 915 MHz, de 1 W continu ou 0,125 W par impulsions à 217 Hz, chez 36 volontaires. Il a étudié l'influence de cette émission sur les temps de réaction à des tâches d'attention et la vitesse lors de tâches de mémorisation, en pondérant par le nombre d'erreurs dans ces tâches. Aucun effet n'a été observé sur la mémoire, ni sur les temps de réaction simples. Une accélération du temps de réaction de choix (374 ms au lieu de 388 ms pour choisir un bouton droite ou gauche selon l'information affichée sur un écran, par exemple : « oui » ou « non »), a été montrée sous exposition au champ continu à 1 W, mais pas au champ pulsé à 0,125 W.

Koivisto a recherché un effet chez 48 volontaires sur des tests explorant les mêmes fonctions, avec un signal de 902 MHz modulé à 217 Hz, à une puissance de 0,25 W. Il n'a pas retrouvé d'effet sur le temps de réaction de choix, comme Preece avec 0,125 W, mais il a trouvé un effet significatif sur un temps de réaction dit « de vigilance ». Dans une étude complémentaire en cours de publication sur la mémoire de travail, il trouve également une diminution du temps de réaction à la visualisation d'une lettre-cible présentée dans une séquence de caractères à trois essais antérieurs, tandis que paradoxalement ce temps est augmenté pour la réaction à une lettre-cible présentée un seul ou deux essais auparavant.

Ces résultats nécessitent une approche fondée sur une hypothèse plus élaborée pour préciser les circonstances d'apparition d'un effet sur un nombre réduit de variables psychophysiologiques. De plus, nonobstant la confirmation d'un effet à court terme, ces travaux ne permettent pas d'en déduire les éventuelles conséquences à long terme d'expositions répétées sur la santé.

### **Electroencéphalogramme (EEG) (10 articles)**

La signification fonctionnelle des différentes composantes fréquentielles de l'EEG diurne est loin d'être claire. C'est moins le cas avec l'EEG pendant la nuit, qui correspond à des stades bien définis du sommeil chez un individu en bonne santé. Il est aussi possible de mesurer l'activité électrique du cerveau associée à des événements déclenchants sensoriels, cognitifs ou moteurs : ce sont les potentiels « évoqués ». Des effets variables ont été observés sur l'EEG de veille ou de sommeil, parfois difficilement répliquables même au sein d'une équipe, et sans cohérence ou parfois même contradictoires entre eux.

Krause et al (2000), ont montré une modification de la répartition spectrale de l'EEG entre 4 et 12 Hz lors de l'audition d'un mot évoquant l'un de quatre mots cibles prononcés au début du test. Cette différence était considérée par les auteurs comme possiblement corrélée aux modifications comportementales décrites par Koivisto et al (2000, in press). Malheureusement, Krause et al (2000) n'ont pas rapporté les scores de performance de leur étude, ce qui rend difficile dans ces conditions

d'estimer si l'exposition a facilité la tâche de mémorisation, comme on pourrait s'y attendre si les modifications EEG étaient réellement corrélées à cet effet.

Trois autres études de potentiels évoqués ont donné des résultats divers : sur les potentiels visuels, celle d'Urban et al (1998) était négative, tandis que celle de Freude et al (1998) montrait une diminution d'amplitude de la réponse ; celle d'Eulitz et al (1998) sur des potentiels auditifs corticaux associés à une tâche de vigilance indiquait une diminution de la puissance spectrale dans les plus hautes fréquences (18-30 Hz).

***Conclusions du groupe d'experts sur les études concernant le fonctionnement cérébral : Les résultats de Preece et Koivisto suggèrent que l'exposition aiguë aux champs des téléphones mobiles à des niveaux inférieurs aux valeurs limites recommandées produit des effets d'amplitude suffisante pour modifier le comportement. Le mécanisme causal reste incompris, mais pourrait faire intervenir un faible échauffement localisé. Il apparaît assez clairement que l'exposition aux téléphones mobiles modifie certaines fonctions cérébrales, sans que l'on puisse en établir la signification biologique, clinique, et a fortiori l'éventuel impact sanitaire. Des études d'exposition à long terme en laboratoire ou parmi un groupe de nouveaux utilisateurs permettraient d'identifier des modifications du fonctionnement cérébral associées à une exposition cumulée. De telles études devraient constituer une priorité des recherches futures.***

#### **Effets sur le cœur et la pression sanguine (9 articles)**

Braune et al (1998) ont montré de légers effets sur le rythme cardiaque, la pression sanguine et la perfusion capillaire, mais l'ordre de passage placebo-exposés était toujours le même pour tous les sujets, et il n'y avait donc pas de vrai groupe contrôle.

Le groupe d'experts en conclue qu'il n'y a pas d'éléments pour suspecter des effets sur le cœur et la circulation, mais conseillent de reproduire l'expérimentation de Braune et al avec un protocole approprié.

#### ***Téléphones mobiles et conduite automobile (15 articles)***

L'usage du téléphone mobile peut perturber la conduite par un effet direct, de l'encombrement d'une main qui n'est alors plus disponible, ou par un effet indirect plus central de dispersion de l'attention sur la communication plutôt que sur la conduite. Plusieurs études en laboratoire ont montré, étonnement, que ces deux aspects intervenaient dans la même proportion, c'est-à-dire que la distraction due à un téléphone mobile est aussi importante avec un téléphone « mains libres » qu'avec un téléphone tenu à la main. Plus importante qu'une simple écoute de la radio ou qu'une tâche automatique comme la répétition de mots entendus, la perturbation est évidente lors d'une conversation banale, augmente avec la charge mentale de la discussion, et est plus importante chez les sujets âgés.

### **3- Études épidémiologiques**

#### **Etudes en population générale (6 articles)**

L'étude de cohorte réalisée par Rothman et al (1996) n'a pas duré suffisamment longtemps car elle a dû être interrompue prématurément. L'absence de différence de mortalité entre les utilisateurs de téléphones "mains libres" ou "tenus main" après 3 ans d'exposition ne permet pas de tirer des conclusions. En effet, si un risque de cancer existait, il faudrait plus de temps pour qu'il se manifeste.

L'étude cas-témoins de Hardell et al (1999) en Suède n'a pas mis en évidence de risque augmenté de tumeur lié à l'utilisation du téléphone mobile, qu'il soit analogue ou digital. Les critiques de cet article sont par ailleurs développées dans une section de l'annexe.

Hocking (1998) a détecté par annonce 40 personnes qui présentaient des symptômes attribués à l'usage d'un téléphone mobile. Les principaux symptômes étaient des douleurs, un échauffement désagréable, une vision floue, des bourdonnements ou des vertiges. Il n'a été déclaré aucune crise d'épilepsie. L'équipe de Hansson-Mild (Ofstedal et al, 2000) a montré une incidence identique de différents symptômes entre les utilisateurs de téléphones analogues et digitaux. Ces symptômes comprenaient des céphalées, un état de fatigue, et la sensation de chaleur sur ou derrière l'oreille ; leur survenue était associée au nombre et à la durée quotidienne des appels. L'enquête par questionnaire peut être à l'origine de biais dans la sélection des réponses.

#### *Etudes en milieu professionnel (4 revues)*

De nombreuses autres études ont porté sur les maladies et les décès en relation avec une exposition RF professionnelle ou de loisir (radio-amateurs). Les pathologies les plus incriminées sont les cancers lympho- et hématopoïétiques et les cancers du cerveau (18 articles).

**- Cancer: Szmigielski (1996) a décrit un risque six fois plus élevé de cancer lympho et hématopoïétique dans le personnel militaire polonais professionnellement exposé aux RF. Cependant, cette étude présente des défauts importants qui limitent sinon annulent ses conclusions : les expositions des cas de cancers n'ont pas été évaluées par les mêmes équipes que celles de la population générale, la méthodologie statistique n'est pas correctement décrite et des données importantes manquent dans ce rapport. En dehors de cette étude, sur 9 autres publications, seule celle de Tynes et al (1992) montre un risque significativement augmenté - de leucémie chez les travailleurs dans l'électricité en Norvège. De même pour les cancers du cerveau, en dehors de l'étude de Szmigielski, 2 études sur 7, toutes deux de type cas-contrôle, retrouvent un risque significativement augmenté : celle de Thomas et al (1987) qui a évalué l'exposition à partir des titres des professions, et celle de Grayson (1996) pour laquelle le risque est faible même pour les expositions les plus intenses (RR = 1,39 ; IC95% = 1,01-1,90).**

En résumé, il n'y a globalement pas d'indication d'un risque augmenté de cancer par l'exposition professionnelle aux RF, mais les paramètres sont variables entre les études et ne sont pas comparables à l'exposition aux téléphones mobiles. De nombreuses études ont une faible puissance statistique et plusieurs ont des défauts méthodologiques. C'est pourquoi l'absence de résultats positifs cohérents ne garantit pas que les champs RF des téléphones mobiles ne constitue pas un risque de cancer.

**- Aspects sanitaires autres que le cancer (5 articles, 1 revue): Plusieurs études de cohortes professionnelles ont étudié la mortalité "non-cancer" et parfois la morbidité. Bien qu'elles n'aient pas mis en évidence de risque pour la santé, il semble raisonnable d'instaurer un suivi à long terme des travailleurs exposés à des champs RF intenses. Les experts**

*recommandent de constituer un registre de ces travailleurs exposés et d'examiner les risques de cancer et la mortalité pour définir s'il y a un effet néfaste.*

### **Exposition résidentielle autour d'émetteurs radio et télévision (8 articles)**

Quelques excès non significatifs de leucémies chez des enfants ont été observés dans les études de Maskarinec et al (1994), de Dolk et al (1997a), de Hocking et al (1996). Une étude plus large de Dolk et al (1997b) était négative, tandis que McKenzie et al (1998) a montré que l'augmentation observée par Hocking ne concernait qu'un village sur trois et pouvait constituer un "cluster". Toutes les études de ce type ont les faiblesses des études écologiques, basées sur des données de cancer et d'exposition de population et non individuelles. Globalement l'évidence indique qu'il n'y a pas de risque pour la santé des personnes habitant près des stations de base où les niveaux d'exposition atteignent seulement une faible fraction des valeurs recommandées.

### **Téléphones mobiles et conduite automobile**

Les études épidémiologiques de Violanti (1997, 1998) et de Redelmeier et Tibshirani (1997) ont clairement montré l'association entre le risque d'accident et la présence à bord ou l'usage de téléphones mobiles, qu'ils soient « mains libres » ou non. Les experts concluent qu'il n'y a donc pas de justification à légiférer différemment entre les téléphones tenus à la main, plus faciles à détecter, et ceux « mains libres ». En effet, le risque serait alors de donner l'impression de favoriser, ou au moins de tolérer, ce dernier usage.

La conclusion générale du rapport Stewart est exposée dans son avant propos : « L'équilibre des faits ne suggère pas que les technologies de la téléphonie mobile expose la population générale du Royaume Uni à un risque. Il existe une évidence préliminaire que les champs émis par ces technologies peuvent induire, dans certains cas, des effets biologiques subtiles, mais il est important de noter que de tels effets ne représentent pas nécessairement des menaces pour la santé ».

Conclusion générale du groupe d'experts sur le rapport Stewart : *Ce rapport présente une description très précise et juste des systèmes de téléphonie mobile et des champs qu'ils émettent, dans l'air et dans les tissus de la tête. Les rappels physiques sur les champs électromagnétiques et les mécanismes d'interaction démontrés ou hypothétiques sont bien développés<sup>17</sup>. La littérature de référence, quoique extensive, n'est pas exhaustive.*

*Le groupe d'experts constate que l'analyse des effets biologiques et sanitaires dans ce rapport prend aussi bien en compte les effets des fortes intensités que des faibles intensités, ce qui peut être trompeur. Le niveau d'exposition est parfois insuffisamment précisé, souvent qualitativement (intensité «très faible, faible, moyennement élevée, forte»), ce qui peut prêter à confusion ou permettre des erreurs d'interprétation quant aux valeurs que ces termes recouvrent. C'est ainsi qu'un même niveau de DAS de 55 W/m<sup>2</sup> semble être considéré comme «faible» (§ 5.138), tandis que quelques pages auparavant, 100 W/m<sup>2</sup> est identifié comme «très haute intensité» (§ 5.128) ; l'interprétation des effets attribués aux champs électromagnétiques à cette intensité peut alors être éminemment variable, mais constitue une source d'erreur de jugement non négligeable. De la même manière, l'amplitude des*

<sup>17</sup> Quelques erreurs se sont malgré tout glissées dans ce rapport, par exemple la densité des tissus biologiques (en fait la masse volumique) est de 1000 kg/m<sup>3</sup> et non de 0,001 kg/m<sup>3</sup> (§ 4.37 p. 38), un électron est attiré par une charge positive et non négative (§ 4.39 p. 39), et certains raisonnements paraissent discutables ou imprécis (la limite des rayonnements ionisants et non ionisants correspond en fait à l'énergie d'ionisation de l'atome le plus abondant de l'organisme, à savoir l'hydrogène de l'eau : 12,4 eV).

*effets observés n'est pas toujours indiquée, ce qui rend difficile leur interprétation en termes de conséquences sanitaires.*

*Certains résultats sont considérés dans ce rapport comme ne relevant pas du contexte de la téléphonie mobile : par exemple, l'influence sanitaire d'effets des radiofréquences modulées à 16 Hz n'est pas envisagée sous prétexte que cette fréquence de modulation n'est pas utilisée en téléphonie mobile. Le groupe d'experts est réservé sur ce point car il est parfaitement concevable, en fonction des mécanismes qui régissent ce type d'effets, qu'ils puissent se produire à 217 Hz (fréquence actuellement utilisée) ou que l'évolution technologique justifie un jour l'utilisation de cette très basse fréquence de modulation. C'est également le cas des effets sur la transition de phase lipidique dans les membranes, et des effets sur l'électroencéphalogramme (EEG) : si l'on ne connaît pas les mécanismes à l'origine des effets observés, ni les conséquences éventuelles de ces effets sur le fonctionnement de la cellule ou de l'organisme, on ne peut les considérer comme non nocifs sous le seul motif que les conditions d'exposition ou biologiques dans lesquelles ils ont été observés ne correspondent pas aux conditions d'utilisation des téléphones mobiles.*

*Le groupe d'experts est d'accord sur le fait qu'il y a une nette évidence que l'exposition aux signaux des téléphones mobiles, à des intensités respectant les recommandations de l'ICNIRP, a des effets directs à court terme sur l'activité électrique du cerveau et les fonctions cognitives. Il est urgent d'en étudier les conséquences possibles sur la santé, car s'il y en a, et si un seuil peut être défini, les recommandations devront être revues. Il est aussi important de préciser si ces effets sont produits par une élévation locale de température ou, comme cela semble possible, par un mécanisme "non-thermique". Le même accord existe sur les études expérimentales, qui ne suggèrent pas d'effet néfaste sur le cœur, le sang ou le système immunitaire, mais le groupe d'experts observe que les données sont moins riches pour la reproduction et le développement.*

*Un certain nombre de personnes signalent des symptômes tels que des maux de tête, de la fatigue et une perception de chaleur derrière l'oreille pendant ou peu après l'utilisation d'un téléphone mobile. Il n'est pas clair à quel point ces symptômes sont réellement dus aux champs RF. Cela appelle de nouvelles études. L'évidence épidémiologique à ce jour ne suggère pas que l'exposition RF provoque le cancer, ce qui est cohérent avec l'absence d'effets mutagène, initiateur ou promoteur démontré des RF en dessous des valeurs recommandées. Cependant l'utilisation des téléphones mobiles est trop récente pour permettre une évaluation épidémiologique décisive, et la possibilité d'une association entre la technologie de la téléphonie mobile et le cancer ne peut pas être exclue à ce stade.*

*Un seul risque sérieux pour la santé de la téléphonie mobile a été clairement établi : celui de l'incidence augmentée d'accident de la circulation quand le conducteur utilise un téléphone mobile. Ce risque est équivalent pour un téléphone "mains libres" ou "tenu en main", car il provient de la distraction lié à la conversation plus que de la gêne à diriger le véhicule ou d'un effet direct du champ RF sur le cerveau.*

*Au total, le groupe d'experts juge que l'information apportée par ce rapport est très riche et pertinente ; il en partage les conclusions, pour l'essentiel.*

**Rapport remis à la DG XIII en septembre 1996 et sur sa mise à jour par le COST 244 bis en 1999**

Le rapport « McKinlay », du nom du responsable du groupe d'experts, a été écrit en neuf mois par dix experts. Il avait été commandé par la DG XIII<sup>18</sup> de la commission européenne pour fournir des recommandations sur la recherche à effectuer en Europe sur les effets sanitaires éventuels des téléphones mobiles. Il s'agissait là du premier rapport important de cette nature. Les experts avaient été choisis directement par la commission et étaient chargés d'émettre des recommandations basées sur l'état des connaissances, sur le contenu de la recherche à effectuer et l'organisation de la recherche (mise en place de « pare feux » et financement).

En 1998, la DG XIII a demandé au membres du COST "244 bis" de mettre à jour les données bibliographiques et les recommandations du rapport McKinlay. Ce rapport désigné ci-après comme le rapport COST 244, a été remis à la DG XIII en juin 1999, après la tenue à Bordeaux en avril 1999 d'un colloque intitulé « Future European Research on Mobile Communications and Health ». Chercheurs de l'Université et de l'industrie étaient associés pour la réalisation de cette tâche. La critique donnée ci-dessous prend en compte l'ensemble des deux rapports.

**1. Etudes concernant le système nerveux et les comportements (47 études en 1996 ; 18 supplémentaires en 1999)**

*a- Etudes in vitro (11 études citées en 1996)*

*Conclusions résumées :* Les quelques études pratiquées sur des préparations nerveuses ne sont pas concluantes car un effet thermique est souvent présent, sauf quand la thermorégulation est correctement effectuée et, dans ce cas, les résultats sont négatifs.

Les études anciennes sur l'efflux de l'ion calcium des membranes de cellules nerveuses, soumises à des micro-ondes ne sont pas non plus concluantes car les conditions d'exposition n'étaient pas bien connues et des études de réplication se sont avérées négatives.

- *Calcium :* Plusieurs observations de relargage d'ions calcium de la membrane de cellules nerveuses ont été faites sur des cerveaux de poussins. L'effet ne se produisait que pour des fréquences de modulation entre 6 et 20 Hz. Certains auteurs n'obtenaient l'effet que pour des valeurs particulières de la puissance (effets « fenêtre »). D'autres auteurs ont été incapables de reproduire ces résultats.
- **Potentialisation à long terme: Scott et Tattersall (1999) ont étudié l'effet d'exposition à 700, 900 et 1800 MHz (continu et GSM) pendant 10 min sur des tranches de cerveau de rat. Ils ont observé une altération de la potentialisation à long terme (un des mécanismes de mémorisation), indépendante de la nature du signal.**
- *Expression de gènes.* Ivaschuk et coll (1997) ont exposé des cellules nerveuses PC12 traitées par le NGF<sup>19</sup> à 836.55 MHz (signal TDMA<sup>20</sup>, DAS de 0.41-41 mW/kg) pendant 20, 40, et 60 minutes.

<sup>18</sup> Direction générale chargée des télécommunications

<sup>19</sup> nerve growth factor

Aucune modification de l'expression de l'oncogène c-fos n'a été observée tandis que celle de c-jun était augmentée au plus haut niveau de DAS, mais seulement après 20 minutes d'exposition.

*b- Etudes chez l'animal (34 études citées en 1996, 6 supplémentaires en 1999, 12 en cours)*

*Conclusions résumées :*

*Electrophysiologie :* L'effet acoustique ou "clic micro-onde" a été largement étudié et est maintenant bien compris. Il s'agit d'une stimulation directe de la cochlée par une onde thermo-élastique générée par l'absorption des micro-ondes par le liquide céphalorachidien. Il ne se produit que pour des impulsions suffisamment énergétiques.

*Neurotransmetteurs et hormones :* Les données disponibles semblent indiquer que les effets observés sont de nature thermique. Les études récentes sur les niveaux de neurotransmetteurs chez le rat (dopamine, noradrénaline et GABA) ont été négatives.

*Barrière hémato-encéphalique* De nombreuses études ont été pratiquées sur l'effet potentiel des micro-ondes sur la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique (BHE). La plupart des études anciennes étaient faites à des niveaux thermiques, mais les conclusions des études récentes réalisées avec des signaux de téléphonie mobile sont difficiles à évaluer. Les effets sont contradictoires sauf à niveaux d'exposition élevés. Il est donc concevable que les effets soient dus à des augmentations de la pression artérielle causée par le stress de confinement dans les systèmes d'exposition.

- Fritze et coll (1997) ont montré que les micro-ondes des téléphones mobiles ne provoquaient pas d'extravasation de protéines pour des DAS inférieurs à 7,5 W/kg chez des rats dont la tête était exposée dans un "carrousel".
- Le groupe de Salford et Persson a effectué une longue série d'études sur des rats soumis "corps-entier" à différents signaux. Ils ont rapporté une augmentation de 50 % de la perméabilité pour des DAS inférieurs à 0,3 W/kg (GSM 900 et 1800 ; Persson et al., 1999). Au-dessus de ce seuil, la perméabilité augmentait rapidement avec la puissance.
- Récemment, Tsurita et coll. (1999) ont exposé des rats dans un carrousel à 1,439 GHz et n'ont détecté aucune augmentation de la perméabilité de la BHE pour des DAS allant jusqu'à 10 W/kg.

*Mémoire :* Une étude datant de 1994 avait montré des effets délétères sur l'apprentissage de rats soumis à des micro-ondes pulsées (mémoire de travail). Depuis cette date, un seul essai de répllication a été tenté avec un signal de faible puissance à 900 MHz, et s'est soldé par un échec.

- En 1999, Sienkiewicz et coll ont tenté d'adapter l'expérience de Lai sur des souris soumises à des expositions de 45 minutes (GSM 900, DAS de 0,05 W/kg). Les animaux étaient ensuite placés dans des labyrinthes à 8 bras. Aucun effet sur l'apprentissage ne fut observé à ce faible niveau de puissance.

*Expression des gènes et études de stress:* Plusieurs études ont été menées sur les protéines de choc thermique (ARNm). Seules des expositions pulsées ou continues à niveau élevé ont conduit à des augmentations de l'expression des gènes. Dans le cerveau, l'expression du gène c-fos correspond

---

<sup>20</sup> signal pulsé : time division multiple access

souvent à un stress d'origine thermique ou autre. La mesure de c-fos a donc été utilisée dans deux études qui n'ont montré d'altérations qu'à des niveaux thermiques.

- Fritze et coll (1997) ont étudié le stress, l'apoptose, et la prolifération de cellules de cerveau de rats exposés à des signaux de téléphonie mobile tandis que Morrissey et coll en 1999 effectuaient ces études sur la souris. Dans les deux cas, des augmentations de l'expression de c-fos et d'autres gènes ont été observées mais seulement au plus haut niveau de DAS. (environ 7 W/kg)

*c- Etudes chez l'homme (4 études citées en 1996, 8 supplémentaires en 1999)*

En raison de la proximité entre le téléphone mobile et la tête de l'utilisateur, une partie importante de l'énergie absorbée se trouve proche du cerveau. Des études d'électrophysiologie et des fonctions neuronales ont donc été faites. La plupart de ces études ont été pratiquées sur l'homme.

*Conclusions résumées :* Les études sur l'EEG et le sommeil ont montré des altérations mineures. Des expérimentations dans des conditions très rigoureuses devraient être effectuées pour confirmer ces résultats et permettre de les interpréter.

Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le système nerveux et le comportement : *Les deux rapports sont très complets, et montrent bien la part importante qu'a pris ce thème dans le contexte des effets sanitaires des téléphones mobiles. Aucune étude effectuée in vitro n'a effectivement mis en évidence d'effet à des niveaux non thermiques, bien que certaines études méritent d'être dupliquées. Chez l'animal, il est exact que les effets sur la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique sont à étudier de manière soutenue et que des marqueurs du stress seraient utiles pour déceler des effets sur le fonctionnement cérébral. Chez l'homme, il est juste de recommander des études sur le sommeil avec exposition diurne, ce qui n'a pas encore été effectué.*

## **2. Etudes concernant le cancer**

### *a- Etudes expérimentales*

Conclusions résumées :

*Etudes de génotoxicité in vitro (11 études en 1996, 9 supplémentaires en 1999, 2 en cours ou prévues)*  
La plupart des résultats obtenus avant 1996 étaient négatifs pour des niveaux non thermiques. Les études récentes sur les dommages à l'ADN, les échanges de chromatides sœurs, micro-noyaux et cycle cellulaire ont également été négatives. Certains résultats indiquent une synergie potentielle entre micro-ondes et facteurs mutagènes.

- Des effets de faible amplitude ont été rapportés par Maes et al. (1996, 1997) montrant une action de synergie entre des champs RF et un agent mutagène (mitomycine C) sur des lymphocytes humains (935.2 MHz CW et GSM, 2 heures d'exposition à 0.3-0.4 W/kg).
- Phillips et al. (1998) ont observé des effets de directions opposées sur des lignées de lymphocytes (signaux de téléphones mobiles américains). Les niveaux de DAS étaient très bas (2,4-26 mW/kg).

*Etudes de génotoxicité in vivo (11 études en 1996, 7 supplémentaires en 1999, 3 en cours ou prévues)*

**La plupart des études ont été réalisées à des niveaux de DAS élevés correspondant à des effets thermiques. Néanmoins, une série d'études portant sur la fragmentation de l'ADN dans des cerveaux de rats exposés à des micro-ondes pulsées, a fourni des résultats positifs qui n'ont pas depuis été répliqués.**

- En 1996, Lai et Singh ont publié leurs résultats sur les ruptures de l'ADN dans les cellules de cerveaux de rats exposés, corps-entier, pendant 2 heures, à des micro-ondes pulsées ou continues (2450 MHz, DAS de 1.2 W/kg). Le test dit de « comètes » était utilisé et le nombre de ruptures de l'ADN était augmentée de manière significative. En 1997, le même groupe rapportait l'inhibition de l'effet par des antioxydants.
- **Malayapa et coll (1998) ne purent retrouver les effets en utilisant le même protocole et le même système d'exposition (micro-ondes continues). Depuis, le même groupe a également échoué dans leur réplification de l'expérience de Lai et Singh avec cette fois des micro-ondes pulsées (Lagroye et coll, 1999). De même, l'expérience de Hook (1999) sur le même modèle biologique mais avec des signaux de téléphonie mobile a été négative.**

*Etudes in vitro sur des modèles de cancer (7 études citées en 1996, 9 supplémentaires en 1999, 15 en cours ou prévues)*

#### *Prolifération cellulaire*

Plusieurs études de prolifération ont été effectuées sur des cellules en culture soumises à des signaux micro-ondes avec des résultats contradictoires ou non confirmés.

- Le groupe de Cleary avait décrit des effets sur la prolifération de cellules CHO (Cao et coll., 1995) et de lymphocytes (Cleary et coll., 1996), exposés à des micro-ondes de forte puissance (2450 MHz 25 W/kg) dans des conditions isothermes. Depuis, Shi et al. (1999) n'ont pas observé les mêmes effets en utilisant un système d'exposition identique mais en contrôlant mieux la température.
- Dans des expériences sur des mastocytes exposées à des micro-ondes à 835 MHz et 8,1 mW/cm<sup>2</sup>, Donnellan et coll. en 1997 ont observé une augmentation de la prolifération. Aucune indication de DAS et donc d'échauffement n'était donnée.
- Récemment, Stagg et coll. (1997), ont exposé des cellules C6 de gliome à 836.55 MHz (signal pulsé de téléphonie mobile), pendant deux semaines à bas niveau (mW/kg). Une faible augmentation de l'incorporation de thymidine tritiée était observée dans certaines expériences sans que la prolifération, mesurée à partir d'un comptage de cellules, soit affectée.

#### *Transformation cellulaire*

Après l'étude du groupe de Balcer-Kubiczek datant 1991, qui avait montré un effet dose de micro-ondes modulées associées à des promoteurs de tumeurs sur la transformation de cellules C3H 10T1/2, deux études de transformation récentes, réalisées avec des signaux de téléphonie mobile, se sont révélées négatives (Cain et coll., 1997 ; Malayapa et coll. 1997)

#### *Activité enzymatique*

Une série de travaux effectués avec des micro-ondes de faible puissance, modulées à basse fréquence ont montré des altérations de l'activité d'enzymes intracellulaires impliqués dans la

promotion cancéreuse, sans que la synthèse d'ADN soit notablement affectée. C'est le cas en particulier des études du groupe de Litovitz (Krause et al., 1997; Litovitz et al., 1993, 1997), sur l'activité de l'enzyme ornithine décarboxylase (ODC). Quand de tels effets sont observés, l'amplitude en est bien plus faible que sous l'effet de promoteurs de tumeurs.

*Etudes in vivo sur des modèles de cancer (10 études citées en 1996, 14 supplémentaires en 1999, 1 en cours ou prévue)*

Différents modèles de cancer ont été mis en œuvre chez l'animal pour déterminer les effets éventuels des micro-ondes sur les trois phases du développement cancéreux (initiation, promotion et progression). En plus des modèles classiques de tumeurs induites chimiquement à l'aide de rayonnements ionisants, des modèles d'animaux transgéniques rendus plus susceptibles de développer des tumeurs ont été utilisés.

Globalement, les résultats des études sur ces différents modèles animaux apportent peu d'indices d'une influence des micro-ondes sur le processus cancéreux et en particulier sur la phase de promotion qui a été la plus étudiée.

- **En 1997, le groupe australien de Repacholi a publié des résultats positifs sur des souris transgéniques porteuses de lymphomes exposées pendant 18 mois à des signaux GSM (DAS corps-entier de 0,008 à 4,2 W/kg). Une augmentation importante de l'incidence des lymphomes était observée.**
- **Toler et coll. en 1997 et Frei et al. en 1998, ont exposé des souris susceptibles de développer des tumeurs mammaires à 2450 MHz (jusqu'à 1 W/kg), sur la durée de vie des souris. Aucune différence n'a été observée sur l'incidence et le délai d'apparition des tumeurs, la longévité des animaux.**
- **Les résultats du groupe de Adey (1999) sur les tumeurs du cerveau induites chez le rat ont toutes été négatives, indépendamment du signal de téléphone mobile utilisé pour l'exposition à long terme des animaux**
- **Wu et coll. (1994) n'ont pas observé d'altération du développement de tumeurs du colon induites chez la souris tandis que Imaida et coll., en 1998, ne décelaient pas d'effets des micro-ondes dans un modèle de cancer du foie chez le rat.**
- **Les résultats récents des groupes de Bartsch et de Anane obtenus sur des rats porteurs de tumeurs induites par le DMBA, et soumis à des signaux GSM à bas niveau, montrent des réductions de l'incidence des tumeurs ou un retard de leur date d'apparition.**

*c- Etudes épidémiologiques (11 études citées sur les tumeurs du cerveau, 16 sur la leucémie)*

*Conclusions résumées :*

Un résumé complet est donné des fondements de l'épidémiologie et de son application à la situation de l'exposition aux micro-ondes. La plupart des études n'a pas été effectuée dans des conditions satisfaisantes d'évaluation de l'exposition et une seule étude concerne la téléphone mobile. Il est donc impossible de conclure, mais des recommandations précises sont faites quant au type d'étude à réaliser : étude cas-témoins des cancers de la tête, mais pas du cancer du sein ou de

leucémie. Une approche épidémiologique concernant les stations de base est exclue. L'étude d'affections non cancéreuses ou de désordres subjectifs est également déconseillée dans l'état actuel des connaissances (en attendant les résultats définitifs de l'étude réalisée en Suède et Norvège).

- Rothman et coll. ont publié en 1996 des résultats préliminaires sur les taux de mortalité chez les clients d'un réseau de téléphonie mobile américain (255 868 personnes). La comparaison était faite entre les utilisateurs de terminaux portables et ceux des autres modèles de téléphones mobiles. Pour une population d'utilisateurs réguliers pendant 3 ans, le rapport de mortalité était de 0,86 (0,47–1,53). La faible durée du suivi (un an) et la méconnaissance des causes de la mort constituent des faiblesses majeures de l'étude.

*Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le cancer : Les données présentées sont exhaustives et prennent en compte les études en cours en 1999. À la lumière des connaissances acquises en 1999, on peut conclure avec les auteurs de rapport que l'induction de lymphomes, et de tumeurs en général, causée par l'exposition aux micro-ondes de la téléphonie mobile ne constitue pas un phénomène général. Néanmoins, il reste nécessaire de confirmer le rôle de l'exposition dans la promotion des tumeurs, les résultats actuels étant contradictoires. Les recommandations du rapport concernant les études épidémiologiques à mener rejoignent le protocole qui a été choisi pour l'étude internationale pilotée par le CIRC. Les conclusions du groupe d'experts concordent avec celles de ce rapport pour ce qui est des études sur les stations de base.*

### **3. Etudes concernant le système cardio-vasculaire**

*Conclusions résumées* : Peu d'études ont été réalisées en rapport avec la téléphonie mobile.

- Braune et coll. ont publié en 1999 leurs résultats sur l'augmentation de 10 % de la pression artérielle chez des volontaires exposés en aveugle à se signaux GSM durant 35 minutes. Malheureusement, l'interprétation de ces résultats est rendue difficile du fait de l'absence de randomisation des séquences exposition réelle- exposition fictive.

**Commentaires du groupe d'experts concernant le système cardiovasculaire : Les effets observés après exposition micro-onde à niveau élevé sont probablement dus à l'échauffement. Les études en rapport avec la téléphonie mobile sont en nombre limité ; ces données ne permettent pas de conclure.**

### **4. Etudes concernant la reproduction et le développement**

*Conclusions résumées* : le sujet n'est pas abordé.

### **5. Etudes concernant le système immunitaire**

*Conclusions résumées* :

**Études in vivo sur le système immunitaire (8 études en 1996, 2 supplémentaires en 1999)**

La plupart des résultats récents sur la réponse immune étudiée in vitro ont été classés dans le chapitre concernant la génotoxicité et le cancer. Dans ces expérimentations aucun effet sur les paramètres immunitaires n'avait été observé (ex : Antonopoulos, 1997; Eberle, 1997).

### **Études in vivo sur le système immunitaire (11 études aiguës citées en 1996 et 5 chroniques, 2 supplémentaires en 1999)**

**La plupart des études sur le système immunitaire chez l'animal datent. La plupart étaient couplées avec des études de promotion du cancer. Peu d'études concernent spécifiquement les signaux de la téléphonie mobile. La conclusion du rapport est que seules des niveaux thermiques peuvent provoquer des altérations durables de l'immunité. Le rôle que peut jouer le stress et la réponse immune au niveau de la peau doivent être étudiés en détail.**

- Chagnaud et coll, ont publié en 1999 des résultats négatifs sur certains paramètres immunitaires de rats exposés à des signaux GSM (activation et sous-populations lymphocytaires).

Commentaires du groupe d'experts concernant l'immunité : *Au vu des rares résultats pertinents, il est exact que l'on ne peut conclure à des effets des signaux de téléphone mobile sur le système immunitaire. Néanmoins, il faut approfondir les connaissances sur les effets du stress thermo-induit (même en absence d'élévation de la température corporelle), et étudier les effets éventuels sur la peau, en tant qu'organe immunitaire.*

### **6. Études concernant les interférences avec les implants biomédicaux**

*Conclusions résumées :*

Avant 1996, l'essentiel de l'activité de recherche avait porté à juste titre sur les pacemakers. Des études avaient montré que certains pacemakers ne fonctionnaient pas correctement à côté d'un téléphone mobile.

- Plusieurs auteurs ont montré l'absence d'interférence des pacemakers avec les téléphones mobiles quand l'éloignement est suffisant (Barbaro et coll, 1995 ; Carillo et coll, 1995 ; Hayes et coll, 1995; Meckelburg et coll, 1996).

En 1999, le sujet n'était pas abordé, en partie car le problème était alors considéré comme résolu.

Commentaires du groupe d'experts concernant les implants : *Il est exact que la question des interférences avec les pacemakers ne se pose plus avec les appareils récents et la consigne d'éloignement de 15 cm. Néanmoins le problème des implants cochléaires n'est pas résolu.*

### **8. Etudes d'autres effets**

*Oreille interne (2 études en cours en 1999 sur l'animal et plusieurs prévues chez l'homme)*

*Conclusion résumée :*

Des études sont en cours et d'autres devront être menées pour s'assurer de l'immunité du système auditif.

*Conclusion générale du groupe d'expert sur les rapports McKinlay/COST 244 bis : L'ensemble constitué par les deux rapports est cohérent et exhaustif. La participation de très nombreux experts au cours de leur rédaction a permis de rassembler des données et des opinions très variées. Il faut rappeler que ces rapports, et surtout celui de 1996, ont servi de base à l'établissement des appels d'offres de la commission européenne, dans le cadre du 5ème PCRD.*

*Les tableaux rassemblant les résultats des travaux de recherche sont assez complets. La présence de tableaux présentant les études en cours et les équipes de recherche en fin de rapport est originale et précieuse. Les recommandations de recherche sont soigneusement établies.*

*Les faiblesses de ces deux rapports concernent le chapitre sur le système cardiovasculaire et surtout celui sur la reproduction et le développement qui est absent.*

*Le groupe d'experts partage globalement les conclusions de ces rapports sur l'absence actuelle d'effets sanitaires avérés et sur les axes de recherche à privilégier pour compléter les connaissances en vue d'une analyse du risque plus rigoureuse.*

## ***ANALYSE DU RAPPORT DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DU CANADA***

Rapport remis au Ministère de la Santé du Canada en mars 1999 et intitulé : « A Review of the Potential Health Risks of Radiofrequency Fields from Wireless Telecommunication Devices »

Un groupe de huit experts nord américains, dirigé par le professeur D. Krewski d'Ottawa, a écrit un rapport sur les risques potentiels des RF émises par les systèmes de télécommunication mobile. Il s'agissait d'informer le gouvernement sur la validité de la norme de santé canadienne intitulée « Health Canada's Safety Code 6 » qui régit l'exposition des fonctionnaires aux différents facteurs de l'environnement.

Un comité directeur canadien des groupes d'experts avaient défini les règles de sélection des membres du groupe, a revu les versions successives du rapport et les a fait examiner par un groupe d'experts indépendants. Le rapport a enfin été rendu public sans modification par le commanditaire, c'est-à-dire la Société royale du Canada.

Il est reconnu, en tête du rapport, que les niveaux mesurés près des stations de base sont très inférieurs aux limites du Safety Code 6, tandis que ceux des téléphones mobiles peuvent s'en approcher.

Le comité a répondu à plusieurs questions précises qu'il est utile de résumer :

### **Les limites actuelles protègent-elles les travailleurs et le public des effets thermiques ?**

Aucun effet ne peut survenir en dessous des limites d'exposition correspondant aux expositions corps-entier. Par contre, les limites d'exposition locale sont nettement plus élevées et pour des durées longues. Ainsi, le comité ne peut assurer que les travailleurs sont protégés des effets thermiques sur certaines parties du corps. Des recherches seront nécessaires pour déterminer la durée maximale des expositions.

### **Quels sont les effets biologiques et sanitaires non thermiques ?**

Il y a des preuves nombreuses que des effets biologiques non thermiques existent, mais, si les données actuelles sont insuffisantes pour l'exclure, il n'a pas été établi que des effets sanitaires en résultaient. L'absence de connaissances sur les mécanismes correspondants ne permet pas d'établir de limites d'exposition à partir de ces effets biologiques.

Aucun effet sanitaire de ce type n'est attendu en rapport avec l'exposition aux stations de base. Par contre, les utilisateurs de téléphones mobiles peuvent manifester des effets biologiques, mais on ne connaît pas d'effet sanitaire associé.

Les craintes concernant le cancer ne sont pour l'instant pas fondées. Les études concernant l'homme ont surtout porté sur le cancer, les troubles de la reproduction ou du développement, l'épilepsie, et les maux de tête. Globalement, ces études ne sont pas concluantes, mais des recherches nouvelles sont nécessaires.

### **Ces effets non thermiques, s'ils existent, sont-ils plus important chez les enfants ou d'autres sous-populations sensibles ?**

Certaines sous-populations comme les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées sont plus sensibles à certains risques sanitaires liés à l'environnement. Peu d'études ont été faites sur ces groupes en ce qui concerne les RF, et pas toujours avec la qualité suffisante.

Le comité n'a pas trouvé de preuves de l'existence d'un syndrome des micro-ondes. Par contre il paraît clair que certaines personnes peuvent déceler qu'ils sont exposés à des champs RF.

### **Quelles sont les conclusions du comité et en particulier, sur la prise en compte des effets non-thermiques dans la révision du Safety Code 6 ?**

Le Safety Code 6 protège bien les travailleurs et le public des effets thermiques, bien que certaines parties du corps comme la tête, le cou, le tronc, et les membres des travailleurs puissent dans certains cas être échauffés, au vu des limites actuelles d'exposition locales. Le groupe conseille donc de réviser les niveaux et les durées des expositions locales pour les travailleurs.

Les connaissances sur les effets non-thermiques ne sont pas actuellement suffisantes pour que ces effets soient pris en compte dans la révision du Safety Code 6. Les limites d'exposition locales devraient être appliquées à l'œil.

### **Quelles sont les recherches à mener pour mieux connaître les effets non-thermiques des RF ?**

Des recherches devraient être lancées pour mieux connaître les effets sanitaires des RF, et en particulier sur la sensibilité particulière de certains groupes. Des études épidémiologiques sont recommandées, même si l'évaluation de l'exposition est difficile, car les durées d'usage des téléphones mobiles sont actuellement trop courtes pour pouvoir percevoir d'éventuels effets à long terme.

La suite du document expose et critique de manière systématique les conclusions du groupe d'experts canadien, en suivant le même plan que pour les autres rapports de base.

## **1. Etudes concernant le système nerveux et les comportements**

La probabilité que les micro-ondes puissent interagir avec le tissu cérébral et provoquer des effets non-thermiques a été suggérée par les résultats des études soviétiques anciennes. La question principale est de savoir si ces tissus, siège d'une activité électrique, sont plus que d'autres susceptibles d'être affectés par les micro-ondes. Si c'est le cas, l'exposition peut-elle déclencher des troubles nerveux ou en aggraver d'autres ?

### **a- Etudes chez l'animal**

#### *Conclusions résumées :*

*Ion calcium:* une longue série d'expériences réalisées dans plusieurs laboratoires a montré une augmentation du relargage du calcium des membranes.

*Barrière hémato-encéphalique (BHE) :* des augmentations de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique ont été observées sous exposition micro-onde. Il s'agit là d'effets dont les conséquences pour la santé humaine pourraient être importants.

*Métabolisme cérébral :* plusieurs études consécutives issues d'un même groupe ont montré des altérations de récepteurs aux neurotransmetteurs et une implication des opioïdes endogènes dans les effets des micro-ondes.

*Comportement :* quelques études ont montré un déficit de la mémoire de rats exposés à des micro-ondes pulsées.

La plupart des effets rapportés chez l'animal concernent des niveaux élevés (thermiques), sauf ceux obtenus sur l'efflux d'ions calcium. Les études sur le comportement sont globalement positives, mais leur extrapolation à l'homme reste incertaine.

- Une augmentation du relargage de l'ion calcium de membranes cellulaires cérébrales a été mise en évidence par Blackman et coll. (1979, 1980). Les RF à faible niveau (147 MHz, 0,5 mW/cm<sup>2</sup>) étaient modulées à basse fréquence (16 Hz).
- Le groupe de D'Andrea a exposé des rats pendant 90 jours (7 h/j) à des micro-ondes (2450 MHz, 0,5 mW/cm<sup>2</sup>) et a observé des altérations du déroulement de tâches opératoires (DeWitt, D'Andrea et coll. 1987).
- Lai, Horita et coll. (1994) ont examiné le rôle des opioïdes endogènes dans les déficits de la mémoire induits par l'exposition aux RF, chez des rats placés dans des labyrinthes radiaux. Le retard d'apprentissage pouvait être inhibé par un traitement à l'aide d'un agoniste cholinergique ou par un antagoniste des opiacés.
- Le groupe de Salford et Persson (1992,1994) a montré que des micro-ondes continues ou pulsées (915 MHz, DAS de 0,016-5 W/kg, modulation à 8 ; 16 ; 50 ou 200 Hz) augmentaient de façon significative la perméabilité de la BHE à l'albumine chez des rats exposés. L'augmentation était nette pour la plus haute valeur de DAS, mais non négligeable au dessous de 0,1 W/kg (soit au dessous des valeurs recommandées dans le cadre du Safety Code 6).

#### b- Etudes chez l'homme

##### *Conclusions résumées :*

*Epilepsie :* il n'existe pas à ce jour de données reproductibles indiquant que des crises d'épilepsie puissent être déclenchées ou aggravées par une exposition aux micro-ondes.

*Maladies neurodégénératives :* en raison du rôle que joue le métabolisme de l'acétylcholine dans le SNC, il est important de chercher si des effets des micro-ondes existent sur des maladies telles que l'Alzheimer. À ce jour, aucune donnée n'indique un lien causal entre les micro-ondes et la maladie d'Alzheimer. Ceci est également vrai pour la SLA (sclérose latérale amyotrophique). Dans le cas de la SLA, des études épidémiologiques dans la gamme des ELF ont été effectuées. Des études dans la gamme des RF sont nécessaires.

*Troubles du sommeil :* Les résultats obtenus chez des volontaires exposés durant leur sommeil ont montré des altérations du sommeil, que ce soit avec des signaux des téléphones mobiles ou d'autres à plus basse fréquence issus d'appareillages à visée thérapeutique. Pourtant, ces résultats ne paraissent pas compatibles avec ceux obtenus chez les animaux.

*Dépression, suicide et comportement :* Un syndrome des micro-ondes a été décrit mais jamais quantifié. Les symptômes en sont : irritabilité, fatigabilité, perte d'appétit, torpeur, perte de mémoire, difficulté à se concentrer, instabilité émotionnelle, dépression et maux de tête. Les données expérimentales actuelles ne confirment pas l'existence d'un lien entre exposition micro-ondes et mal de tête. Pourtant, des plaintes sont exprimées dans ce sens. Les études épidémiologiques sur le suicide n'ont été effectuées que dans la gamme des ELF.

*Œil :* Depuis 40 ans, les effets potentiels des micro-ondes sur l'œil, et en particulier sur la genèse des cataractes, ont été souvent étudiés. Les problèmes techniques d'expérimentation sont très nombreux et on ne sait toujours pas quels sont les mécanismes des dommages créés à l'œil par les micro-ondes, bien qu'à haut niveau de puissance, les effets thermiques soient évidents.

En conclusion, dans l'état actuel des connaissances, aucun effet sanitaire neurologique ou sur les fonctions cérébrales ne semble être attribuable aux micro-ondes de niveau non-thermique. Les maux de tête, qui ont été rapportés en lien avec l'exposition aux RF, sont un symptôme très variable qu'il est difficile de relier à des altérations neurochimiques. Mais il est nécessaire de poursuivre les recherches dans ce sens. De même, les propriétés spécifiques de l'œil appellent une attention particulière.

Dans l'étude de Reiser en 1995, un téléphone mobile commercial fonctionnant à 900 MHz était utilisé à 40 cm du sujet exposé. Il était constaté une augmentation de l'amplitude du spectre EEG dans les bandes alpha et bêta après 15 min d'exposition.

- Sobel and Davanipour (1996) ont suggéré que les champs électromagnétiques contribuent au processus neurodégénératif, tandis que Feychting et al. (1998) suggèrent que les altérations du tissu cérébral causé par les champs électromagnétiques prédisposent à la maladie d'Alzheimer.
- Dans l'étude sur le sommeil de Mann et Röschke en 1996, les sujets, exposés durant la nuit pendant 8 heures, ne voyaient pas leur sommeil altéré du point de vue de la durée et de la quantité de sommeil à ondes lentes. Pourtant, les durées de la phase d'endormissement et du sommeil paradoxal étaient réduites. Ces résultats n'ont pas été retrouvés par le même groupe en 1998, à plus bas niveau d'exposition.
- Une étude récente de Hansson-Mild en Suède et Norvège en 1998, semble montrer que les maux de tête seraient effectivement un symptôme subjectif souvent rapporté par les utilisateurs de téléphones mobiles.
- En 1997, Kues et collaborateurs ont étudié la perméabilité vasculaire chez le singe exposé à des micro-ondes à 2450 MHz pendant 3 jours. Une relation dose-effet fut trouvée entre la perméabilité vasculaire induite après l'exposition et les lésions de la cornée constatées plus tard.

Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le système nerveux et le comportement : *Les conclusions du rapport sont que des zones d'ombre existent dans les connaissances, et en particulier en ce qui concerne les maux de tête et l'œil. La plupart des études publiées ont été prises en compte, mais le traitement des études animales et in vitro n'est pas approfondi et des erreurs d'interprétation sont commises. Un ensemble de données est en faveur d'un effet des RF sur les comportements de l'animal, mais la transposition de ces résultats à l'homme ne peut se faire sans des travaux appropriés.*

*A l'époque de la rédaction de ce rapport, les résultats récents concernant le sommeil et les tâches cognitives n'étaient pas connus. Ceci explique certaines conclusions rapides qui ne sont plus d'actualité.*

## **2. Etudes concernant le cancer**

### a- Etudes expérimentales

*Conclusions résumées :*

*Génotoxicité :* Globalement, les résultats publiés n'apportent aucune preuve de l'existence d'effets génotoxiques associés aux micro-ondes utilisées en téléphonie mobile. Les taux de mutation in vitro ne sont pas altérés. Les études sur les aberrations chromosomiques se sont révélées incohérentes (14 études citées dont 5 positives). Le taux de micro-noyaux dans des cellules exposées est parfois augmenté de manière significative (9 études citées dont 7 positives). L'exposition de cellules en culture n'a pas donné lieu à des altérations de l'ADN (10 études citées, toutes négatives). Par contre, l'exposition d'animaux – les tests étant pratiqués in vitro - a donné des résultats variés concernant l'ADN (10 études citées dont 6 positives). Les tests de transformation cellulaire n'ont pas donné de résultats reproductibles (4 études citées dont 2 positives).

*Prolifération cellulaire :* L'influence de l'exposition à des micro-ondes sur la prolifération cellulaire a été étudiée dans de nombreux cas dans des conditions très variées. Depuis que les conditions d'exposition et, en particulier, le contrôle de température, sont satisfaisantes, les résultats sont devenus négatifs à quelques exceptions près.

*ODC :* l'enzyme ornithine décarboxylase, qui catalyse la formation de polyamines dans la cellule, jouerait un rôle important dans la phase de promotion du processus de cancérogenèse. Une

augmentation de l'activité de l'ODC a été observée sous exposition à des micro-ondes modulées à basse fréquence ; il pourrait exister un 'effet fenêtre', l'augmentation de l'activité de l'ODC n'étant observée par certains auteurs que dans une gamme particulière de modulation basse-fréquence (5 études positives citées correspondant à des micro-ondes modulées).

*Mélatonine* : en raison des résultats obtenus sur les niveaux nocturnes de l'hormone mélatonine chez les rongeurs dans la gamme ELF, quelques études ont été effectuées avec des micro-ondes. On n'a pas observé d'effet chez l'homme exposé durant la nuit. Chez des rats exposés, la quantité de mélatonine nocturne n'était pas non plus affectée.

*Initiation, promotion et progression de tumeurs* : Certaines études ont montré une augmentation de l'incidence de tumeurs, mais d'autres une réduction du risque de cancer. Il n'y a pas de preuve d'une action de promotion des tumeurs par les micro-ondes, ni d'accélération de la progression. Néanmoins, au vu des résultats contradictoires, des études supplémentaires sont nécessaires.

- Un seul résultat positif existe sur l'induction d'échanges de chromatide sœur dans des lymphocytes humains exposés à 167 MHz (Khalil et al., 1993). Il est probable que l'effet était dû dans cette expérience à un échauffement créé par les RF.
- Lai et Singh (1995), ont utilisé le test dit des comètes pour observer une augmentation de la fragmentation de l'ADN dans des cellules de cerveau de rats soumis à une exposition à 2450 MHz. Plusieurs essais indépendants ont été menés pour répliquer leurs résultats positifs, sans succès jusqu'à présent.
- Les résultats de Balcer-Kubiczek et Harrison (1985; 1989; 1991) sur la transformation des cellules C3H/10 T1/2 ont montré que les micro-ondes seules n'induisaient pas la transformation, mais qu'une synergie était peut-être possible avec d'autres mutagènes ou agents promoteurs.
- Des cellules C6 et des cellules primaires de rats ont été exposés par Stagg et coll. (1997) à des signaux de téléphone mobile (TDMA) pendant 24 h à bas niveau de DAS. Une augmentation de la synthèse d'ADN fut observée à 5,9 mW/kg mais pas à 0,59 ou 59 mW/kg, ce qui correspond à de très faibles niveaux de puissance absorbée.
- Le groupe de Litovitz, entre autres, a observé des augmentations de l'activité de l'enzyme ODC dans des cellules exposées pendant plusieurs heures à des RF (835-915 MHz, 2,5 W/kg), mais seulement quand elles étaient modulées en amplitude à 16 et 60 Hz. L'augmentation de l'activité de l'ODC était transitoire.
- Dans une étude spécifique du taux de mélatonine, Vollrath et coll., (1997), n'ont pas trouvé d'effets chez des rats exposés pendant 6 heures à des micro-ondes à faible niveau (900 MHz, 0,06 to 0,6 W/kg)
- En 1997, Repacholi et coll., ont publié des résultats sur des souris transgéniques exposées à des signaux GSM 900. L'exposition augmentait l'incidence de lymphomes (x 2,4) à la fin des 19 mois d'exposition. Le DAS moyen allait de 0,008 à 4,2 W/kg. Des expériences de réplication sont prévues.

## b- Etudes épidémiologiques

### *Conclusions résumées :*

Les études épidémiologiques concernant les RF ont été peu nombreuses, très diverses et rarement en rapport avec la téléphonie mobile. Les études ont porté sur les cancers chez l'adulte et l'enfant, sur la reproduction et les anomalies congénitales. La mesure et l'évaluation de ces expositions sont extrêmement difficiles. Le niveau est souvent plus élevé en milieu professionnel (militaires et policiers, travailleurs de l'électronique, de la médecine et de l'industrie sont les plus étudiés), mais les résultats sont très discordants et aucun n'a trait aux téléphones mobiles. Aucune étude épidémiologique ne permet d'estimer le risque concernant les enfants.

- Dans une étude de cohorte de Szmigielski, réalisée en Pologne en 1996, sur des militaires, la dosimétrie fut réalisée sur des sujets placés dans des conditions d'exposition connues. Une incidence augmentée fut observée pour les cancers du système hématopoïétique, des organes lymphatiques et du système nerveux. Pourtant, des critiques sévères ont été émises sur la méthodologie de cette étude. A la suite de l'observation d'un nombre augmenté de leucémies chez l'adulte près d'un émetteur TV et radio en Angleterre (phénomène d'agrégat, ou 'cluster', en anglais), deux études furent menées, l'une localement autour de l'émetteur incriminé, et l'autre dans toute la Grande Bretagne (Dolk et coll., 1997). Une augmentation du nombre total de cas de cancer de 3%, non significative fut calculée autour de l'émetteur, indépendamment de la distance. Seule l'augmentation du nombre de leucémies était significatif (OR : 1,83 [1,22-2,74]). En revanche, dans l'étude portant sur l'ensemble du pays, aucune association ne fut trouvée. Les problèmes posés par ces études résidaient dans l'estimation du niveau de l'exposition en fonction de la distance à l'antenne et dans les mouvements de population durant ces longues périodes d'observation.
- Rothman et coll., (1996) ont mesuré la mortalité globale d'utilisateurs de téléphones "mobiles" (puissants, transportables) et de "portatifs" (peu puissants, portables). Sur un échantillon de 255868 personnes, aucune différence ne fut trouvée entre les deux populations. Cette étude est critiquable en raison du manque de suivi, de la mauvaise définition de l'exposition à partir des informations issues des opérateurs.

*Commentaires du groupe d'experts sur les effets concernant le cancer: Les données bibliographiques sont nombreuses mais pas bien ordonnées : les différents aspects du processus de cancérisation et les conséquences sanitaires se trouvent dans des chapitres éloignés. Les auteurs du rapport se sont particulièrement penchés sur cette forme de risque. Ils discutent abondamment – peut-être surinterprètent-ils - les travaux expérimentaux in vitro relatifs à l'ODC, comme possible 'chaînon manquant' d'un mécanisme de cancérogenèse. Les faits actuels sont peu clairs, et l'hypothèse ne suffit pas à faire une démonstration, en l'état actuel des données, et doit être confrontée à d'autres données expérimentales. En effet, l'incohérence des résultats est soulignée ainsi que le fait que la plupart sont négatifs. En particulier, au vu des données disponibles, on peut conclure que les micro-ondes ne sont pas génotoxiques. Un effet promoteur n'est pas exclu, et d'ailleurs c'est l'hypothèse de travail qui a justifié l'engagement de l'étude internationale du CIRC. On regrettera que la synergie possible entre RF et mutagènes ou autres facteurs ne soit pas suffisamment considérée.*

*La pertinence des conditions d'exposition en rapport avec la téléphonie mobile, pour assurer la validité des expérimentations ou des travaux épidémiologiques, n'est pas suffisamment soulignée.*

### **3. Etudes concernant le système cardio-vasculaire**

*Conclusions résumées :* Le sujet est traité très brièvement. Des études soviétiques datant des années 60 auraient montré des altérations de la pression artérielle ainsi que des anomalies du rythme.

- Dans une étude récente (Bortkiewicz et al., 1997), sur 71 employés d'une station de radiodiffusion, des anomalies de l'électrocardiogramme ont été décelées plus fréquemment que sur des témoins non exposés.

**Commentaires du groupe d'experts concernant le système cardiovasculaire : Les données ne permettent pas de conclure.**

#### **4. Etudes concernant la reproduction et le développement**

*Conclusions résumées* : Le rapport ne conclut pas sur ce sujet, peu exploré.

Huit études sont présentées, dont 5 conduites en milieu professionnel, parmi des kinésithérapeutes exposés aux micro-ondes. Elles concernent un ensemble disparate de manifestations telles que le risque d'interruption de grossesse, de malformations congénitales, la prématurité, ou le petit poids de naissance. Les conditions d'exposition ne sont pas celles de la téléphonie mobile. Les résultats sont discordants, et les effectifs souvent insuffisants pour conclure. Quelques unes de ces études sont suggestives (de manière non significative) d'un risque accru en cas d'exposition aux RF de dispositifs de diathermie.

Une étude a été initiée par l'observation, en Lituanie, d'un déficit de naissances mâles dans le voisinage d'une station radar émettant un champ de 154-162 MHz, pulsé à 24.4 Hz. Divers tests psychométriques et neurologiques ont été réalisés, montrant des différences selon la plus ou moins grande proximité de la station, mais la mobilité des enfants, âgés de 9 à 18 ans, n'a pas été prise en compte, ce qui rend délicate toute conclusion.

**Commentaires du groupe d'experts concernant la reproduction et le développement** : *Le sujet n'est pas vraiment développé. De manière indirecte, sont discutées quelques études conduites en milieu professionnel, chez des kinésithérapeutes exposés aux micro-ondes, mais ces données, hétérogènes, ne sont pas concluantes. Ce point est une faiblesse du rapport.*

#### **5. Etudes concernant le système immunitaire**

*Conclusions résumées* : Le sujet n'est pas traité spécifiquement et les quelques données existantes sont citées dans le chapitre sur le cancer.

**Commentaires du groupe d'experts concernant le système immunitaire** : *Les données ne permettent pas de conclure.*

#### **6. Etudes concernant les interférences avec les implants biomédicaux**

*Conclusions résumées* : Le sujet n'est pas traité dans ce rapport.

#### **7. Autres effets**

##### **1- CONCLUSIONS RESUMEES :**

- *Effets éventuels sur l'œil :*

Dans un court chapitre, les rares résultats des études sur les effets des micro-ondes sur l'œil sont décrits : seuls les deux groupes de Kues et Kamimura ont effectué de telles études. Kues a observé des effets délétères (cataracte), sur les yeux de singes exposés à des micro-ondes pulsées ou continues de forte puissance tandis que Kamimura n'a jamais observé d'effets de micro-ondes continues dans des modèles similaires. Les résultats de Kues n'ont pas été reproduits, mais aucune équipe n'a effectué d'études de réplication dans des conditions rigoureuses. En conclusion, en raison de la faible vascularisation de l'œil et de sa position exposée, il est recommandé de poursuivre les études pour déterminer les risques réels et d'établir des limites d'exposition plus sévères que pour les expositions

locales d'autres organes. Ainsi, il est recommandé une limite de 1,6 W/kg pour les travailleurs et de 0,2 pour le public.

- TELEPHONES MOBILES ET CONDUITE AUTOMOBILE :

2- *IL NE S'AGIT PAS LA D'UN RISQUE DIRECT DES ONDES MAIS LES AUTEURS DU RAPPORT INSISTENT SUR LE CARACTERE GRAVISSIME DU RISQUE DEMONTE PAR UNE ETUDE CANADIENNE ORIGINALE SUR 699 SUJETS IMPLIQUES DANS UN ACCIDENT. LE RISQUE (SEULS LES ACCIDENTS SANS BLESSES ONT ETE CONSIDERES) EST AUSSI ELEVE QUE POUR LA CONDUITE EN ETAT D'IVRESSE (TAUX D'ALCOOL DANS LE SANG A LA LIMITE AUTORISEE), AVEC UN RISQUE RELATIF DE 4,3 [3,0-6,5], INCHANGE SELON QUE LES PERSONNES UTILISENT OU NON UN KIT MAINS-LIBRES. C'EST L'INATTENTION QUI SERAIT RESPONSABLE DES ACCIDENTS.*

- SYNDROME DES MICRO-ONDES :

Ce syndrome défini plus haut n'a pas reçu de confirmation objective.

Néanmoins, il serait souhaitable d'étudier en double aveugle la sensibilité potentielle de certains sujets aux champs RF.

Commentaires du groupe d'experts concernant les effets sur l'œil : *L'importance donnée à l'œil dans ce rapport est en partie due au fait qu'il s'agit de normes concernant d'abord les travailleurs dont les yeux peuvent, dans certaines circonstances, être exposés à des micro-ondes de puissance relativement forte. Néanmoins, il n'est pas raisonnable de donner autant d'importance à ce thème dans la mesure où :*

- *Les résultats de Kues sont contredits par ceux de Kamimura,*
- *Ils ont été obtenus à des puissances ou énergies très élevées, sans rapport avec les niveaux de la téléphonie mobile ou des walkies-talkies, et sont largement contestés.*

*Les niveaux d'exposition proposés sont plus bas que pour des organes moins fragiles ou les extrémités mais sont parfaitement compatibles avec l'utilisation de téléphones mobiles. En effet, de par sa position, l'œil est peu exposé au champ émis par le terminal.*

Conclusion générale du groupe d'expert sur le rapport canadien :

*Ce rapport n'est pas très récent et beaucoup de données expérimentales nouvelles manquent. L'ensemble n'est pas équilibré car certains sujets sont très détaillés tandis que d'autres sont traités trop brièvement ou pas du tout. La bibliographie est complète mais n'est pas organisée correctement par thème. Ceci est dû probablement à la taille trop faible du groupe d'experts et aux disciplines représentées.*

*Ce rapport porte de nombreux témoignages sur l'existence de manifestations biologiques et fonctionnelles résultant d'expositions aux RF bien inférieures à celles susceptibles d'occasionner des effets thermiques. Pour autant, il reste très prudent sur l'interprétation de ces constats en termes 'd'effets menaçants' et de risques sanitaires. La possibilité d'une différenciation des effets biologiques des RF selon les caractères de leur modulation est signalée, et mérite d'être explorée. Si certaines voies mécanistiques sont avancées, elles relèvent encore d'hypothèses scientifiques, montrant que les recherches doivent continuer pour lever les incertitudes concernant les expositions locales et les effets à long terme.*

### III- Les rapports additionnels

#### ***ANALYSE DU RAPPORT DE L'ACADEMIE DES SCIENCES***

***Actes du symposium international “ Communication mobile, Effets biologiques ” organisé au Collège de France les 19 et 20 Avril 2000 par l'Académie des Sciences, le Conseil pour les Applications de l'Académie des Sciences (CADAS), l'Académie Nationale de Médecine et la Fondation pour le Développement de la Science et de ses Applications (FDSA).***

#### **INTRODUCTION**

Ce symposium, dont le but était d'aborder le plus exhaustivement possible les problèmes liés aux effets biologiques de la communication mobile, a été réparti selon 6 sessions :

La session 1, consacrée à la **dosimétrie**, placée sous la responsabilité de Joe Wiart de France Télécom Recherche et Développement et présidée par Pierre Aigrain de l'Académie des Sciences et du CADAS. La session 2, consacrée aux **études sur l'homme**, placée sous la co-responsabilité de Jean-Louis Coatrieux et Alain Bardou du LTSI-INSERM à l'Université Rennes 1 et présidée par Claude-Henri Chouard de l'Académie Nationale de Médecine.

- La session 3, consacrée aux **études animales in vitro**, placée sous la responsabilité de Bernard Veyret du PIOM de Bordeaux et présidée par Charles Pilet, de l'Académie Nationale de Médecine, de l'Académie des Sciences et du CADAS.

- La session 4, consacrée à l'**épidémiologie**, placée sous la responsabilité d'Elizabeth Cardis du CIRC de Lyon et présidée par Raymond Ardaillou de l'Académie Nationale de Médecine.

- La session 5, consacrée à l'**évolution du contexte technique, économique et réglementaire**, placée sous la responsabilité de Luis Miro de la faculté de Médecine de Nîmes et présidée par Jacques Jousot-Dubien de l'Académie des Sciences. La session 6, consacrée à la **gestion d'éventuelles alertes** devant un danger potentiel, placée sous la responsabilité de Claude Gilbert du CNRS et présidée par Pierre Fillet du CADAS.

En raison de la mission confiée au groupe d'experts, cette synthèse ne portera que sur les chapitres relatifs aux travaux sur les effets biologiques et sanitaires des RF. Cela ne signifie pas, bien entendu, que les autres contributions soient de moindre valeur. Cependant, elles relèvent plus de la *gestion des risques*, et toute personne intéressée pourra se reporter au rapport complet publié par l'Académie des Sciences. La bibliographie citée dans cette synthèse figure en annexe.

#### **1/ Dosimétrie**

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, dédié à l'électromagnétisme appliqué à la dosimétrie des interactions des ondes radioélectriques avec les personnes, **Joe Wiart** rappelle en préambule que la dosimétrie, ou la quantification des champs et puissances induits dans les tissus, est un axe essentiel des études relatives aux interactions des champs électromagnétiques avec les personnes. Comme cela a été souligné par l'Organisation Mondiale de la Santé, et le projet EMF [917] en particulier, l'analyse des effets biologiques possibles des ondes électromagnétiques passe par la maîtrise des niveaux de champs électriques, magnétiques et les puissances induites dans les tissus. Par le passé, beaucoup d'études biomédicales ont été menées sans que les analyses dosimétriques n'aient été réalisées préalablement, aujourd'hui il est parfois difficile de tirer des conclusions de ces études. Les experts de la DGXIII [576] ont recommandé dans leur rapport que les analyses dosimétriques soient un préalable aux études in vivo et in vitro.

Les études dosimétriques sont également essentielles pour analyser la conformité aux normes et recommandations internationales des radiotéléphones et systèmes associés. La commission européenne a

émis une recommandation relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (1999/519/CE)[224]. Ce document est basé sur les recommandations scientifiques [386] de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI). Ce document définit les restrictions de base, limites de puissances absorbées par les tissus, qui garantissent une protection des personnes vis-à-vis des effets connus et les niveaux de références, champs électriques et magnétiques, qui assurent que les puissances induites sont inférieures aux restrictions de base. Pour le grand public et suivant ces recommandations, la puissance absorbée par le corps entier ne doit pas excéder 0,08 watts/Kg. Localement cette puissance moyennée sur 10 grammes de tissu ne doit pas dépasser 2 watts/kg. Dans le domaine de la radiotéléphonie, les niveaux de référence en champ électrique pour le grand public sont de 41,1 volts/mètre à 900 Hz et de 58 volts/mètre à 1800 MHz.

Après avoir exposé les enjeux actuels de la dosimétrie, l'auteur s'attache à poser les bases de la dosimétrie numérique et expérimentale en rappelant la structure du champ électromagnétique et le couplage entre les champs électriques et magnétiques liés par les équations de Maxwell. Sont ainsi exposées les bases de la quantification numérique et expérimentale de l'énergie dans les tissus et principalement du taux d'absorption massique (DAS) seront exposées ainsi que l'évaluation numérique et expérimentale des champs électromagnétiques.

Dans la deuxième partie, cet exposé traitera des applications de la dosimétrie dans le domaine de l'analyse des effets biologiques possibles des ondes radioélectriques. Les principes de l'accès par multiplexage temporel (TDMA), du contrôle de puissance et de la transmission discontinue, qui ont un impact important sur la puissance effectivement émise par les mobiles et relais radio, sont rappelés.

Un chapitre est consacré à la présentation d'un modèle numérique développé au CNET, comprenant 10 tissus (peau, os, liquide céphalo-rachidien, matière grise, matière blanche...) et permettant l'étude de la distribution de l'énergie dans ces différents tissus. Les caractéristiques électromagnétiques, permittivité et conductivité des tissus utilisées dans ce modèle sont celles publiées par Gabriel [289]. Dans ces conditions, pour une émission à 900 MHz avec une puissance de crête de 100 watts les simulations indiquent un DAS moyen sur 10 grammes de 1,1 watts/kg [388]. L'analyse dosimétrique montre que la tête absorbe environ 50% de la puissance émise par le radiotéléphone, la peau absorbant 15%, le muscle 10%, le liquide céphalo-rachidien 5% et le cerveau 13%. L'absorption est principalement localisée dans la zone proche de l'oreille, 30% de l'énergie étant absorbée dans un cube de 5 cm de côté centré sur l'oreille interne.

Les problèmes d'évaluation des champs induits par les stations de base sont alors abordés. Les interactions des stations de base avec les personnes peuvent être analysées soit en terme de champ incident, soit en terme de champ induit dans les tissus. Cette deuxième approche, basée sur le DAS est la seule valide quand la personne est très près de l'antenne ('champ proche'). Dans ce cas, un modèle expérimental ou numérique est à construire pour analyser les champs induits et des études sont poursuivies pour analyser et quantifier ces interactions. La première approche concernant l'analyse en champ incident est très utilisée dans la mesure où elle permet une comparaison avec les niveaux de référence des recommandations. Ce type d'approche montre que les densités surfaciques des puissances émises décroissent rapidement. Au delà de quelques mètres, les champs induits et les puissances associées sont très inférieurs aux recommandations internationales. Les antennes relais, souvent constituées de réseaux de dipôles, focalisent l'énergie dans une direction, cette dernière étant principalement rayonnée sur un axe perpendiculaire à l'antenne, sa densité surfacique étant extrêmement faible à sa verticale. Le problème métrologique est actuellement lié à la mesure sur site, les caractères multi-fréquence et multi-polarité des systèmes actuels localisés sur les mêmes lieux interdisant l'usage de sondes de mesure intégrant directement une diode de détection. Des études sont actuellement menées autour d'antennes isotopes sélectives sur une large bande de fréquence et un traitement de signal associé.

En conclusion, l'auteur souligne que la dosimétrie des interactions des ondes radioélectriques avec les personnes et les animaux testés est essentielle pour quantifier les niveaux de DAS induits dans les tissus. Cette analyse et cette évaluation sont indispensables pour que les études in vivo, sur l'homme ou épidémiologiques puissent donner lieu à des conclusions fiables, les études dosimétriques comme les protocoles devant être parfaitement définis pour permettre, si nécessaire, la comparaison avec d'éventuelles études de réplification.

La deuxième contribution à ce chapitre consacré à la dosimétrie est due à **Om P. Gandhi**. Elle

rapporte l'état des recherches actuelles de l'Université de l'Utah sur l'application de la dosimétrie à l'étude du couplage électromagnétique entre le corps humain et à la fois les téléphones mobiles et les stations de base. Après avoir rappelé que les recommandations internationales les plus récentes sur les émissions électromagnétiques sont exprimées en termes de DAS [388, 386, 873], l'auteur présente deux différents modèles de tête et cou humains destinés, comme dans la contribution précédente, à étudier la distribution des DAS dans le corps humain en lien avec l'exposition aux téléphones mobiles et aux stations de base [298, 668, 865]. L'auteur a principalement orienté ses travaux sur l'étude des variations de cette distribution de DAS en fonction de la fréquence émise (de 835 à 1900 MHz), la variation de la longueur de l'antenne, en incluant les antennes courtes et hélicoïdales qui sont de plus en plus utilisées à l'heure actuelle, l'angle que fait l'antenne par rapport à la tête ainsi que l'influence des variations de taille au niveau de la tête. La comparaison entre ces valeurs estimées par ce type de méthodes numériques et la mesure directe expérimentale montre un écart de moins de 20% ce qui, au niveau des valeurs mesurées, valide remarquablement, au sens de l'auteur, les modèles utilisés.

Dans une deuxième partie, cet article décrit un système de dosimétrie portable [506] permettant d'évaluer le couplage électromagnétique entre les stations de base et le corps humain en moins d'une minute, avec une précision de 5 à 10 % par rapport à l'évaluation obtenue en utilisant la méthode complète de simulation FDTD (Finite Difference Time Domain) utilisant une grille de 3 cm à 835 MHz et 1,5 cm à 1900 MHz qui nécessite plus d'une heure de temps machine sur le même ordinateur. Ce système de dosimétrie portable peut être utilisé pour définir rapidement la région spatiale en proximité des stations de base où les DASs sont supérieurs à ceux prescrits par les recommandations des instances internationales.

La troisième et dernière contribution consacrée dans cet ouvrage à la dosimétrie est due à **Niels Kuster** et **Nicolas Chavannes**, qui exposent les derniers progrès en dosimétrie expérimentale pour l'évaluation de l'exposition humaine et pour la caractérisation et l'optimisation des installations utilisées dans les expérimentations biologiques. Pour ces auteurs, la mise en évidence d'effets potentiels de champs électromagnétiques sur la santé a trop souvent été remise en question pour des raisons de description incomplète et imprécise de l'exposition et d'une dosimétrie quasi inexistante dans beaucoup d'expérimentations in-vitro et in-vivo. Un autre composante importante semble être la validité d'outils fiables pour analyser et optimiser l'exposition journalière humaine [53]. Le but du présent article est donc de faire une revue des derniers progrès en dosimétrie expérimentale, en montrant à la fois les points forts ou les faiblesses de l'application de ces outils dosimétriques pour la mesure de la répartition des champs dans le corps humain et les procédés d'exposition mis en œuvre au cours des expérimentations biologiques.

Durant ces dernières années, de nombreux dispositifs basés sur des capteurs de champ "diode-loaded" aux performances élevées ont été décrits. Ils vont des sondes hautement spécialisées pour la mesure in vivo et in vitro de la répartition des champs [705], de la répartition de la polarisation du champ [706], etc. Des avancées majeures ont été réalisées au niveau de l'isotropie sphérique, de la résolution spatiale, de la sensibilité, de la largeur de bande, de la linéarité, de l'immunité contre les modes secondaires de réception, de la précision de la calibration, etc. [704]. Les points forts de la dosimétrie expérimentale résident essentiellement dans la validation des résultats des simulations car elle permet de mesurer précisément la répartition des champs dans les conditions réelles, non simplifiées et non modifiées. Ses points faibles se situent essentiellement au niveau de ses restrictions quand elle s'adresse à des milieux liquides ou assimilés, sa résolution spatiale limitée (supérieure à 1 mm<sup>3</sup>, son applicabilité limitée à l'intérieur de petites structures.

A l'opposé, les points forts de la plus fiable des méthodes numériques (Finite Difference Time Domain technique ou FDTD) sont principalement son applicabilité à des structures non homogènes, le fait de fournir une haute résolution spatiale, de permettre d'appréhender une complète répartition en 3D, son aptitude à l'évaluation de la sensibilité des résultats en fonction de différents paramètres (dépendance de l'absorption en fonction de l'anatomie, de la posture, des paramètres tissulaires, etc.). Dans ces conditions, le FDTD est parfaitement applicable aux tâches d'optimisation aux niveaux de dispositifs d'exposition ou de systèmes d'antennes. Le plus important de ses points faibles est que les simulations électromagnétiques requièrent des simplifications de départ par rapport aux conditions véritables conditions d'exposition réelle par les divers dispositifs et que les méthodes FDTD ne permettent pas d'estimer cette incertitude de répartition en interne [117].

## 2/ Études sur l'homme

La contribution introductive d'**Alain Bardou et Jean-Louis Coatrieux** rappelle, de façon générale, les domaines d'action possibles des effets biologiques de la communication mobile, tels qu'ils avaient été dégagés dans le rapport de la Commission de Sécurité du Consommateur au Président de la République et au Parlement en 1997 [60], l'état de l'art à cette date concernant principalement:

- la possible induction de tumeurs cérébrales. La majorité des études s'avéraient négatives (Persson et Salford [762, 764], Adey [11], Juutilainen [426] ; la seule étude contradictoire, par rapport au grand nombre de travaux montrant une innocuité de l'irradiation, était celle de l'équipe de Michael Repacholi (Royal Academic Hospital, Adelaide, Centenary Institute of Cancer Medicine, Sydney, Australie), collaborateur de l'OMS qui, à partir de souris transgéniques génétiquement modifiées pour présenter un terrain favorable au développement du lymphome, a montré que "le risque de développement d'un lymphome est apparu significativement supérieur chez les souris exposées que chez les animaux de contrôle", [734].
- des modifications de perméabilité de la barrière hémato-encéphalique où les résultats demeuraient encore contradictoires, Prato [710], Salford et Persson [763, 695], Fritze et coll. [278].
- des modifications de l'électroencéphalogramme, plus particulièrement sur les ondes a et la puissance spectrale (Thuroczy [861], Von Klitzing [901] et du sommeil principalement au niveau du sommeil paradoxal (Mann and Röschke [554, 748]).
- de l'altération de l'ADN, principalement de possibles dommages au niveau de l'ADN de cellules cérébrales de rat après exposition aux radiofréquences, Lai [487, 488], ayant observé "une augmentation des cassures des mono et double brins d'ADN après exposition à la fréquence de 2450 MHz en mode pulsé ou continu", alors que Fritze [279] et Juutilainen [426] affirment l'un comme l'autre que leurs résultats montrent qu'il est impossible d'imputer un quelconque effet génotoxique aux émissions du téléphone mobile.
- l'action au niveau des hormones hypophysaires, René de Sèze ayant montré une "légère modification du taux de TSH pendant la période d'écoute téléphonique" ainsi qu'une possible action sur le taux de Mélatonine [211, 212]
- le métabolisme de l'Acétylcholine, Lai [480] suggérant une possible diminution de la capture de choline sodium-dépendante et une augmentation de récepteurs cholinergiques muscariniques, ainsi que des effets sur le système neurotransmetteur au niveau de variations de l'activité acétylcholine-estérasique rapportés par Hossmann [373].

La contribution de **René de Seze** à ces études sur l'homme est plus particulièrement consacrée à l'effet de téléphones mobiles sur l'audition, le sommeil et le système nerveux. Concernant le sommeil, des travaux de Röschke et Mann effectués chez 12 volontaires pendant le sommeil montrent que la latence d'endormissement était légèrement réduite (9,5 min au lieu de 12,3 min. ;  $p < 0,005$ ) et la durée totale du sommeil paradoxal (REM) était également diminuée de 17,1 à 13,9% ( $p < 0,05$ ) [554]. Borbely a également montré une réduction du temps d'éveil pendant le sommeil de 18 à 12 min. ( $p < 0,05$ ) et une augmentation de la puissance spectrale pendant le sommeil paradoxal [40]. L'émission était alternative, avec des intervalles marche-arrêt de 15 minutes, une modulation à 217 Hz mais aussi à 2, 8, 17 et 36 Hz; ces dernières fréquences peuvent survenir pendant une faible fraction du temps d'émission des communications réelles. Le DAS calculé maximum dans les tissus, moyenné sur 10 g, était de 1 W/kg.

Au niveau de l'audition, aucune modification des latences des différents potentiels évoqués auditifs ou des intervalles qui les séparent n'a été observée par de Sèze et al. entre les PEA du tronc cérébral enregistés, avant et après une demi-heure d'exposition à un radiotéléphone [214].

Au niveau du système nerveux en général, une étude épidémiologique non publiée [610] a montré une association entre l'utilisation des radiotéléphones cellulaires avec des symptômes bénins, mais perturbateurs de la qualité de la vie (céphalées, échauffement, voire irritation cutanée, ...). Si de tels effets sont provoqués par les radiotéléphones, une interaction physiologique primaire doit précéder

l'apparition de symptômes ou d'une pathologie, qui pourrait être détectée par électroencéphalographie numérisée (Q-EEG). Les résultats sont variables, mais comme l'a signalé Reiser en 1995 [729], une augmentation d'activité de plusieurs bandes de l'EEG a plusieurs fois été observée. Thuroczy a par contre trouvé un effet inverse, d'abord chez le rat (1995), puis chez l'homme [862], tandis que Hietanen après 30 minutes d'exposition [30], ou l'équipe de Röschke après 3,5 minutes [748], n'ont pas observé de différence de la composition spectrale de l'EEG numérisé.

Au niveau des tests cognitifs (mémoire, attention, vigilance) Preece [715, 714] a montré que le temps de réaction de choix était significativement modifié, aucune variation n'étant par ailleurs notée pour le temps de réaction simple, le temps de réaction de vigilance, la mémoire immédiate de mots lus, de nombres ou d'images, ou la mémoire spatiale.

Koivisto a par ailleurs montré qu'aucun test de réaction visuel n'était significativement modifié [446]. Krause a également montré [452] qu'une exposition à un téléphone GSM pendant une tâche de rappel de mots prononcés, mettant en jeu la mémoire de travail auditive, augmentait la puissance relative de l'électroencéphalogramme dans la bande 6-12 Hz avec une prédominance en 10-12 Hz.

**Ulf Berqvist** s'est, dans sa contribution à ce thème, plus particulièrement attaché aux possibles effets hormonaux et cardiovasculaires de la communication mobile ainsi qu'à la possibilité de perception des signaux électromagnétiques du téléphone par des individus hypersensibles à leur égard.

Au niveau hormonal, l'auteur s'est principalement attaché à la mélatonine, dans la mesure où cette dernière peut avoir différents types d'action et être aussi bien impliquée dans l'inhibition de la croissance tumorale que dans le cycle nyctéméral. Quelques études ont examiné les taux de mélatonine en utilisant différentes sources de fréquences [216, 555] sans mettre en évidence de différences liées à l'exposition. Quelques études ont également examiné les taux de cortisol et quelques autres hormones avec de faibles indications d'action de l'exposition [555, 213]. Il faut cependant noter des résultats partiellement contradictoires pour le cortisol dont l'auteur du présent chapitre pense que l'on peut présumer qu'ils sont sans signification biologique.

Des travaux menés par Braune [106] se sont attachés à l'étude de la possible variation de certaines grandeurs circulatoires. Des modifications ont été notées chez l'homme au niveau de la pression artérielle qui est augmentée par l'exposition au GSM de 5 mm Hg pour la pression diastolique et de 10 mm Hg pour la systolique. Aucun effet n'a été observé au niveau de la fréquence cardiaque et de la perfusion capillaire. Il faut cependant noter que cette étude a été assez critiquée pour son manque de randomisation (l'exposition étant toujours pratiquée après le placebo) et pour le fait qu'elle ait été menée en simple et non en double aveugle. Cependant, les résultats de cette étude ont été beaucoup discutés au niveau de leur importance potentielle sur les maux de tête décrits par certains individus (voir les travaux de Hansson Mild dans la section épidémiologie du présent rapport) et les accidents vasculaires cérébraux. Une autre étude n'a, pour sa part, trouvé aucune modification au niveau de la circulation cérébrale après exposition au GSM [862].

La détection de signaux radiofréquences dus aux téléphones mobiles ou à leurs stations de base a été examinée dans quelques études sur des sujets souffrant d'hypersensibilité électromagnétique. Il ressort d'études très récentes effectuées en Finlande que de tels individus apparaissent incapables de détecter les signaux GSM issus des téléphones.

L'auteur conclut en considérant que des études sont actuellement en cours et doivent être poursuivies sur ces différents points en incluant des sujets sains de différentes classes d'âge, des sujets éprouvant divers symptômes associés à l'usage du téléphone mobile, ainsi que des sujets souffrant d'hypersensibilité électromagnétique.

### **3/ Etudes animales et *in vitro***

Dans son texte introductif à ce thème, **Bernard Veyret** souligne l'importance des modèles animaux et cellulaires, justifiée par la somme de connaissances que l'on peut obtenir à l'aide de ces modèles permettant de nombreuses expériences qui ne peuvent être pratiquées sur l'homme. Néanmoins, ce type d'approche expérimentale présente des limitations, la principale tenant à la difficulté posée par l'extrapolation à l'homme des résultats expérimentaux obtenus sur les modèles

animaux et cellulaires. La nécessité de conditions expérimentales les plus standardisées possibles est particulièrement mise en exergue tant au niveau de la dosimétrie que des modèles biologiques choisis et des protocoles expérimentaux, dans le but d'une comparaison objective des différents résultats obtenus. Il est rappelé qu'aucun résultat publié ne porte à conclure qu'il existe des effets sanitaires délétères mais que cependant certains résultats positifs méritent d'être confirmés et que de nouvelles études sont nécessaires pour combler des lacunes dans les connaissances. De nombreuses recherches sont actuellement en cours soit au niveau de programmes nationaux, soit sur des programmes directement financés par l'industrie, (cf chapitre VI, 'état de la recherche')

La contribution de **Zenon Sienkiewicz** du National Radiological Protection Board (NRPB) du Royaume Uni consiste en une revue très exhaustive des études animales concernant les effets biologiques des micro-ondes. Sont successivement abordées les études relatives aux effets sur le système nerveux (pris dans toutes ses composantes: l'expression des gènes, la barrière hématoencéphalique, l'activité électrique, les neurotransmetteurs, la mémoire), la cancérogenèse (également considérée au niveau de ses multiples aspects: les effets génotoxiques, l'incidence de tumeurs spontanées, la promotion, la progression de tumeurs injectées, la Mélatonine), la reproduction et le développement.

#### Effets sur le système nerveux:

Concernant l'expression génétique, plusieurs travaux, notamment ceux de de Pomerai et coll. [208], montrent une possible élévation de la protéine de choc thermique c-fos suggérant une possible élévation thermique très localisée, cette ligne de recherche méritant, selon l'auteur, des travaux additionnels et une réplification indépendante.

Les patterns EEG et la puissance spectrale semblent modifiés par l'exposition [151, 721, 903]. Les variations de puissance spectrale ne semblent par contre observés que pour des niveaux d'exposition faisant varier la température cérébrale locale [859].

Une action sur les neurotransmetteurs a été rapportée par plusieurs études isolées issues de différents laboratoires. L'acétyl-choline est un neurotransmetteur important associé à l'apprentissage et à la mémoire dans différentes régions du cerveau. L'exposition semble altérer cette activité cholinergique dans l'hippocampe et le cortex frontal [473, 447]. L'exposition prolongée semble entraîner une augmentation compensatoire des récepteurs muscariniques cholinergiques [480], ces effets étant corrélés avec des effets sur le comportement. Certains auteurs [476] constatent que des modifications identiques peuvent être induites par des facteurs de stress tels que le bruit ou le confinement. L'orientation actuelle penche pour une médiation possible de corticotrophine "releasing-factor" et l'intervention d'opioïdes endogènes [479, 482, 490]. Différentes modifications du comportement et de la fonction d'apprentissage peuvent également être observés consécutivement à différents types d'irradiation [485, 912, 810, 715, 446, 445]. L'auteur signale, sans les référencer, que de récentes études suggèrent que les micro-ondes peuvent avoir des effets spécifiques sur les performances cognitives chez l'homme et pense que des travaux complémentaires doivent être effectués sur ce sujet, principalement sur des primates.

#### Effets sur la cancérogenèse:

Concernant la génotoxicité, un point important concerne la non répllication [775] des expériences de Lai [549] sur les dommages du DNA liés à l'exposition. Des études complémentaires in vitro [548, 547] confirment cette non répllication. D'autre part, plusieurs études utilisant d'autres indicateurs de dommages du DNA [73, 778, 893, 895] tendent à dédouaner totalement le téléphone mobile au niveau de possibles effets génotoxiques.

Au niveau de l'incidence de tumeurs spontanées, la quasi totalité des études fournit des résultats négatifs [160, 870, 272, 271, 842]. Selon l'auteur, les résultats de l'étude de Repacholi [734] effectuée sur souris transgéniques semblent difficilement transposables à des animaux non transgéniques, et a fortiori à l'homme.

Concernant la promotion, des études datant d'une vingtaine d'années rapportent une promotion et une progression des tumeurs de la peau induites par le benzopyrène chez la souris. Ce rôle de promotion a particulièrement été étudié au cours d'études récentes sur de tumeurs chimiquement induites au niveau du colon chez la souris [485] et au niveau du foie chez le rat [391, 392]. Aucun effet sur l'incidence, le nombre et la taille des tumeurs n'a pu être mis en évidence. Il en a

été de même pour l'exposition de tumeurs cérébrales et bulbaires chez le rat, que ces tumeurs soient spontanées ou chimiquement induites par l'éthylnitrosurée (ENU) [15, 942].

Peu d'études ont été consacrées à la progression des tumeurs induites par injection de cellules cancéreuses à des animaux sains. Bien que la plupart de ces études montrent que l'exposition est sans effet sur la croissance de ce type de tumeurs [765, 360], une étude en décrit un accroissement de la croissance par l'exposition aux micro-ondes [900].

Les effets possibles sur la Mélatonine ont également été étudiés dans la mesure où cette hormone peut agir en tant qu'agent oncostatique, une réduction de cette hormone apparaissant dans ces conditions susceptible d'accroître les risques de cancer. Deux études rapportées par l'auteur ne montrent aucune variation de ce taux de Mélatonine consécutivement à l'exposition aux micro-ondes [96, 97], deux montrant même une augmentation de la Mélatonine sérique [391, 392]. Il faut noter que dans ce même ouvrage figurent deux références de travaux de René de Seze montrant une possible variation des taux de Mélatonine consécutive à l'utilisation du téléphone mobile [211, 212].

En conclusion à cette revue des travaux sur la cancérogenèse, l'auteur conclut que l'ensemble de ces résultats ne laisse que peu de place à l'hypothèse d'un accroissement du risque de cancer par l'exposition aux radiations émises par le téléphone mobile. Cependant, le peu d'études rapportant des résultats positifs interdit de disculper totalement la communication mobile (même s'il est possible de critiquer la pauvreté de la méthodologie expérimentale ou la difficulté d'extrapolation à l'homme de ces expériences), cette incertitude scientifique résiduelle justifiant la poursuite de recherches additionnelles de haute qualité.

#### Effets sur la reproduction

Les effets tératogènes et testiculaires de l'hyperthermie sont bien connus et l'exposition à la chaleur due aux microfréquences peut induire des taux élevés de mortalité intra utérine, des retards foetaux ainsi que des stérilités plus ou moins temporaires [415, 665]. Dans la mesure où les effets thermiques de la téléphonie mobile sont excessivement faibles, on peut s'attendre à l'absence d'effets aux taux d'exposition rencontrés par le public. Cependant, une étude réalisée chez des souris exposées à un parc d'antennes commerciales a montré une rapide chute de la fertilité ainsi qu'une diminution de la taille des embryons [545]. L'absence d'un lot témoin et le fait que ce type de résultat puisse être observé pour d'autres types de stress environnementaux autorise à discuter la validité ces résultats. Cependant ce type d'étude doit être poursuivi en laboratoire selon un protocole expérimental très strict..

**La contribution de Jukka Juutilainen** traite des études *in vitro* relevant de la possible cancérogénicité des radiofréquences. L'auteur rappelle tout d'abord en préambule l'importance du DAS dans ce genre d'études, afin de bien dissocier les effets thermiques et les effets non thermiques. La génotoxicité est essentiellement liée aux dommages causés au DNA. Les agents provoquant de tels dommages sont souvent cancérigènes, la génotoxicité *in vitro* étant souvent utilisée comme pré-screening pour l'identification des substances potentiellement initiatrices. Des agents non génotoxiques peuvent également avoir des propriétés cancérigènes (promoteurs), soit en supprimant ou altérant les mécanismes de réparation de l'ADN, soit en supprimant les réponses protectrices envers le stress oxydatif, soit en agissant sur l'apoptose, soit en stimulant la prolifération cellulaire.

La plupart des résultats actuellement disponibles suggèrent que les radiofréquences n'ont pas d'effet génotoxique direct [113]. Cependant, deux études rapportent des résultats positifs, celle de Maes et coll. à une valeur relativement faible de DAS [542] et celle de Phillips et coll. qui suggère un effet spécifique de la modulation à des niveaux faibles d'exposition [160]. Si l'expérience de Maes peut être critiquée au niveau du contrôle des conditions d'exposition, les résultats obtenus par Phillips, en utilisant les modulations de deux systèmes différents de téléphonie mobile (TDMA et iDEN), semblent intéressants. L'auteur de la communication pense cependant que des effets à des niveaux aussi faibles d'exposition doivent être confirmés par des travaux indépendants avant de pouvoir vraiment être pris en considération.

De nombreuses études ne mettent en évidence aucune augmentation des dommages causés à l'ADN par la combinaison entre des génotoxiques connus et l'exposition aux radiofréquences, ni sur la synthèse réparatrice de l'ADN [701]. Quelques résultats positifs ont été obtenus [544, 543, 781]. Il est intéressant de noter que ces résultats positifs ne sont obtenus que si l'exposition aux radiofréquences

est antérieure à l'action du mutagène et jamais si elle est synchrone ou postérieure [544, 543]. Scarfi et coll. [781] a également obtenu des effets par exposition préalable aux radiofréquences, mais les valeurs de DAS excessivement élevées utilisées ne permettent pas d'exclure d'éventuels effets thermiques. Néanmoins, la possibilité d'effets combinés entre les radiofréquences et les substances génotoxiques doit, selon l'auteur, faire l'objet de nouveaux travaux de recherche.

Concernant les effets de radiofréquences sur la prolifération cellulaire, un groupe de recherche a rapporté des résultats paradoxaux par exposition à un téléphone de type GSM-RF ; un accroissement de la prolifération est décrit dans le premier et une diminution dans le second, les deux études ayant été effectuées avec des types cellulaires et de paramètres d'exposition strictement identiques [470, 887]. Différents travaux effectués sur les marqueurs de prolifération ont montré des modifications, soit sur la thymidine (augmentation de la synthèse d'ADN) [830], soit sur l'ornithine décarboxylase (ODC) (enzyme clé de la synthèse des polyamines) [830, 527, 689]. Les travaux sur l'ODC ont par ailleurs mis en évidence un effet dépendant de la modulation en amplitude du signal d'exposition [527, 689] ou de la fréquence de ce signal [120]. L'auteur considère que ces travaux sur l'ODC sont potentiellement importants et que ce champ de recherche doit être activement poursuivi.

S'agissant de l'action des radiofréquences sur l'expression génétique, deux études suggèrent le fait que cette expression peut être modifiée par une faible exposition aux radiofréquences [323, 402]. Ces travaux aboutissent à des résultats divergents, bien que positifs, l'un montrant des effets sur le proto-oncogène *fos*, l'autre sur le proto-oncogène *jun* et ils ne peuvent être directement comparés car les types de cellules utilisées sont différents ainsi que les niveaux d'exposition. Bien que ces travaux indiquent un possible effet positif, l'auteur considère que la signification pratique de changements aussi faibles dans l'expression génétique demeure obscure.

Concernant enfin les modèles de transformation *in vitro*, trois modèles montrent une accentuation des effets d'un promoteur chimique (TPA) [49, 50, 51], mais, ces trois études rapportées par le même groupe n'ont pas été répliquées par d'autres équipes. D'autre part, une étude de Cain et coll. ne trouve aucun effet à un faible niveau de DAS [125]. Cependant, comme précédemment, les différences au niveau des paramètres d'exposition et des méthodologies utilisées interdisent toute comparaison entre ces différents résultats.

La conclusion générale de l'auteur concernant ce chapitre est que :

- Les données obtenues ne suggèrent pas d'effet génotoxiques directs mais que les recherches sur effets indirects et les possibles interactions doivent être poursuivies.
- Il est difficile d'évaluer les effets relevant de la cancérogénicité non-génotoxique, peu d'études ayant été effectuées dans ce domaine
- Les travaux effectués ont utilisés différents modèles biologiques et paramètres d'exposition rendant très difficile toute étude comparative
- Les travaux actuels ne permettent pas d'affirmer avec certitude l'existence d'effets reliés à la modulation d'amplitude mais ne permettent pas non plus de les exclure

En conséquence, les travaux à venir devront se focaliser sur la cancérogenèse non-génotoxique et la co-cancérogenèse. Ils devront également tenter d'éclaircir les problèmes de la dépendance à la modulation d'amplitude et, en règle générale, la réplification indépendante des résultats positifs actuellement obtenus est une priorité.

#### 4/ Epidémiologie

Dans son exposé introductif, **Elisabeth Cardis** a rappelé qu'avant l'apparition de téléphones mobiles, les deux sources principales d'exposition aux radiofréquences étaient professionnelles et domestiques et que toute l'information sur les risques date des études limitées de cette époque. Cette information est jugée à l'heure actuelle totalement inadéquate sur la présence ou l'absence d'association entre l'exposition aux radiofréquences et les effets sur la santé de l'homme. L'auteur conclut cet exposé en introduisant les deux contributions dédiées aux études épidémiologiques récentes sur l'usage du téléphone mobile présentées respectivement par Kjell Hansson Mild consacrée à l'ensembles de symptômes susceptibles d'être observés en association avec l'usage du téléphone mobile et par Joshua Muscat et coll., plus particulièrement ciblée sur les tumeurs cérébrales.

**L'intervention de Kjell Hansson Mild** rapporte deux études épidémiologiques : une relative aux symptômes subjectifs et aux tumeurs cérébrales, l'autre relative uniquement à la problématique de l'induction éventuelle de tumeurs cérébrales. Concernant les symptômes subjectifs, l'auteur souligne qu'à partir de 1995, de nombreuses personnes ont rapporté éprouver différents symptômes comme des migraines, des sensations d'inconfort, de chaleur derrière ou autour de l'oreille, voire des difficultés de concentration au cours de l'usage du téléphone mobile [667, 365, 611].

Une vaste étude épidémiologique incluant 12 000 utilisateurs en Suède et 5 000 en Norvège a été engagée pour évaluer l'incidence de ce type de symptômes. La comparaison entre les utilisateurs du GSM et du NMT montre que pour ces derniers, le risque de sensation d'échauffement auriculaire est significativement plus élevé que pour les utilisateurs du GSM. Les mêmes conclusions s'appliquent en Suède pour les migraines et la sensation de fatigue [610].

Concernant le problème de la possible induction de tumeurs cérébrales, l'auteur rapporte les résultats publiés par Hardell et coll. [346], à laquelle il a lui-même participé, concernant une étude cas-témoins portant sur 233 patients atteints de tumeur cérébrale vivant dans les régions d'Uppsala et de Stockholm. L'augmentation du risque de tumeur cérébrale liée à l'utilisation du téléphone mobile a uniquement été observée dans les cas de tumeur dans les zones temporales, tempopariétales ou occipitales en position ipsilatérale par rapport à l'utilisation du téléphone mobile. Cette augmentation du risque n'est observée que pour le système NMT, le temps d'observation étant trop court pour étudier un éventuel effet du GSM. Ces résultats, non significatifs sur le plan statistique, ne portent cependant que sur un faible nombre d'observations (13 cas, 10 avec une tumeur maligne, 3 avec une bénigne, dont 9 exposés au NMT, 3 à la fois au NMT et au GSM et un seulement au GSM). La conclusion de l'auteur est qu'un accroissement du risque de tumeur cérébrale dans les zones anatomiques proches de l'utilisation du téléphone cellulaire doit être particulièrement surveillée dans le futur.

La contribution de **Joshua Muscat** et coll. rapporte les résultats d'une étude épidémiologique cas-témoins effectuée entre 1994 et 1998 dans 5 établissements hospitaliers de New-York et du Massachusetts chez 469 hommes et femmes chez lesquels une tumeur cérébrale venait d'être récemment diagnostiquée. Les résultats de cette enquête ont montré que le risque de développement d'un cancer cérébral n'apparaissait relié ni à la fréquence mensuelle d'utilisation (évaluée à partir de la facturation) ni au nombre d'années d'utilisation du téléphone mobile. Le risque de cancer était très peu élevé dans les régions cérébrales proches de l'oreille. Par contre, des analyses histologiques spécifiques ont mis en évidence un accroissement du risque pour une forme peu commune de neuroépithéliomes, ce risque étant similaire chez les gros ou les faibles consommateurs du téléphone mobile. Dans cette étude, la distribution spatiale du cancer cérébral n'a pas été reliée à l'utilisation du téléphone mobile. L'auteur pense que quelque possible effet du téléphone cellulaire peut se produire dans les phases de promotion ou de progression du développement du cancer et que de tels effets peuvent se manifester à relativement court terme. De futures études sont absolument nécessaires pour apprécier les effets sur des périodes d'induction plus prolongées.

## **5/ Evolution du contexte technique, économique et réglementaire.**

Dans la première contribution à ce thème, **Luis Miro** traite de l'évolution du risque sanitaire en rappelant que parallèlement à l'évolution technologique des téléphones mobiles et à leur diffusion presque universelle, il semblerait sage d'envisager des à présent comment le risque sanitaire qui leur est imputé va lui-même évoluer.

Les directions actuellement prises montrent que :

- L'exposition cérébrale devrait normalement diminuer dans les années à venir
- Les fréquences utilisées devraient se situer dans la gamme des 2 GHz
- Le nombre de personnes exposées devrait augmenter de façon extrêmement importante incluant en particulier les enfants, les personnes âgées et les malades.

Sur le plan sanitaire, ce fait est pris en compte dans les diverses réglementations par un facteur de sécurité supplémentaire de “ 5 ” par rapport aux limites d'exposition prévues pour les travailleurs ou dans les zones contrôlées. Le risque sanitaire semble donc *a priori* maîtrisé.

Cependant en examinant de plus près la situation, nous constatons que l'évolution qui nous a été décrite ne se réfère qu'aux seuls téléphones mobiles et ne prend pas en compte leur intégration dans le développement général de l'ensemble des télécommunications intéressant la vie quotidienne de chacun de nous. En effet, dans une échéance que l'on pourrait qualifier “ à moyen terme ” les téléphones mobiles devraient s'intégrer dans une constellation de réseaux constituant les “ Wireless Local Area Network ” ou WLAN, allant des réseaux de bureau ou de contrôle domestique jusqu'au “ Body WLAN ” installé sur la personne elle-même. Cet ensemble devrait entraîner une augmentation importante du nombre des émetteurs classiques et surtout du nombre des petits émetteurs peu puissants, mais dont certains pourraient être situés au contact direct du corps humain. Par ailleurs ces intercommunications entre réseaux devraient utiliser des fréquences plus élevées de l'ordre de la dizaine de GHz, c'est-à-dire les Ondes millimétriques.

Cette nouvelle situation risque :

- d'augmenter l'exposition du corps entier à une multitude de champs électromagnétiques
- de placer sur certaines parties du corps des émetteurs de puissance faible mais susceptibles de se coupler avec des éléments réactifs contenus dans la peau.

Une telle éventualité n'est pas déraisonnable si l'on considère que :

- des études sur la profondeur de pénétration dans la peau ont montré que celle-ci diminuait avec la fréquence, augmentant corrélativement leur absorption dans les couches superficielles cutanées
- de nombreuses études biochimiques, cellulaires, physiologiques et thérapeutiques ont montré une action de ces ondes. Certes les conclusions de ces études ne sont pas cohérentes entre elles, mais il n'en reste pas moins que ces effets semblent exister, même si l'on n'en maîtrise pas les paramètres pertinents.
- un certain nombre de ces études ont montré la possibilité d'effets par résonance liés à la fréquence, bien que ces résultats soient controversés, ou pour le moins discutés.

En conclusion, l'auteur considère donc que c'est dès maintenant, en même temps que se développent les technologies, qu'il faut initier les recherches biologiques et médicales nécessaires pour évaluer au plus près les effets réels ou possibles sur la physiopathologie humaine de ces ondes millimétrique et de l'augmentation de “ l'ambiance électromagnétique ” dans laquelle va vivre l'homme.

Dans sa contribution, **Jörgen Bach Andersen** traite du retentissement de l'évolution du contexte technique sur les effets biologiques des téléphones mobiles. Dans ce domaine, l'auteur considère que la conjonction entre l'évolution continue de la microélectronique, la popularité des téléphones mobiles et le “ global internet ” imprime un mouvement continu de forte croissance du téléphone mobile. Un des changements majeurs rapidement attendu est la montée en puissance de la transmission d'informations par rapport à la transmission de parole, ces informations étant de différentes natures (images, commerce électronique, nouvelles, publicité, etc ...). La condition princeps à l'apparition d'une telle utilisation réside dans la capacité de transmettre des données sous haut débit, qui devrait rapidement croître de 9,6 Kb/s à plusieurs centaines de Kb/s jusqu'à atteindre 2Mb/s pour les terminaux UMTS ou IMT-2000. Cette évolution est également initialisée avec une modification graduelle dans la famille GSM, avec GPRS ou EDGE. Ceci signifie que le mode TDMA (Time Division Multiple Access) de base persistera. Un nouveau spectre vient d'être alloué aux terminaux EMTS dans la bande 2 GHz mais le système UMTS sera légèrement différent dans la mesure où le système codé de division du signal (W-CDMA) se fera à puissance constante et n'aura pas la nature répétitive du signal TDMA.

D'un point de vue relatif à la biologie et à la santé, ces terminaux qui incluront la vision comme une de leurs caractéristiques, seront à une distance respectable de la tête de l'utilisateur et ne seront plus susceptibles des effets de couplage avec le cerveau, comme le font les modèles actuels de téléphones. Cependant, la fonction phonique de ces nouveaux téléphones demeurera un élément important.

La transmission de données à haut débit fait que l'on peut s'attendre à une transmission pratiquement constante à la puissance maximale de 2 Watts, ce qui n'est actuellement pas le cas des mobiles. La standardisation de la puissance maximale de transmission sera vraisemblablement influencée par des considérations d'ordre biologique. Une tendance intéressante du monde de la transmission sans fil est la pénétration des petits transmetteurs à faible puissance (de l'ordre du milliwatt)

Beaucoup de capteurs seront encapsulés dans des dispositifs usuels d'usage journalier afin d'éviter les câbles pour se connecter à une imprimante, à une caméra digitale, et seront de faible puissance, à une bande ISM de l'ordre de 2,45 GHz. L'utilisation du téléphone mobile au niveau de l'oreille deviendra donc réduite, ce que l'on peut envisager à faible puissance, son utilisation principale étant à forte puissance mais à une distance de sécurité respectable.

**En conclusion, l'auteur considère qu'on peut s'attendre à une croissance énorme de la transmission sans fil. Cependant grâce à la conjonction entre une puissance relativement faible et l'éloignement relatif des tissus sensibles, les problèmes de santé publique ne devraient absolument pas avoir à en pâtir selon lui.**

**Avis du groupe d'experts sur le rapport de l'Académie des Sciences : *Cet ouvrage présente le grand intérêt de fournir un instantané de haute qualité scientifique sur les connaissances disponibles en Avril 2000<sup>21</sup>. Les différents domaines de recherche concernant la relation possible entre téléphone mobile et la santé de l'homme sont clairement explicités et portent notamment sur:***

- *la possible induction de tumeurs cérébrales,*
- *des modifications de perméabilité de la barrière hémato-encéphalique,*
- *des modifications de l'électroencéphalogramme, plus particulièrement sur les ondes alpha et la puissance spectrale, et au cours du sommeil, principalement au niveau du sommeil paradoxal,*
- *des modifications cardio-vasculaires, principalement au niveau de la pression artérielle,*
- *l'altération de l'ADN.*

***L'ensemble de ces travaux met en évidence de nombreuses modifications biologiques sans qu'il soit possible de leur attribuer des conséquences avérées sur la santé. Concernant l'hypothèse d'un risque carcinogène, l'examen de l'ensemble des travaux amène à considérer que les radiofréquences n'ont vraisemblablement pas d'effet génotoxique direct. Cependant, il semble que plusieurs points restent encore à élucider concernant plus particulièrement:***

- *les effets de la modulation du signal qui demandent à être étudiés de façon plus approfondie (Phillips et coll.),*
- *la co-cancérogenèse dont plusieurs études à l'heure actuelle sont évocatrices (Maes et coll., Scarfi et coll.) ;*
- *les variations observées des niveaux d'agents oncostatiques (dont un déficit peut être susceptible d'accroître les risques de cancer), tels que la mélatonine (de Seze et coll.),*
- *les variations observées sur les taux de marqueurs de la prolifération tels que la thymidine (augmentation de la synthèse d'ADN (Stagg et coll.) ou l'ornithine décarboxylase (ODC) (Stagg*

<sup>21</sup> L'ouvrage est paru en Janvier 2001 mais rapporte des travaux présentés à l'Académie les 19 et 20 Avril 2000

*et coll., Litovitz et coll., Penafiel et coll.), enzyme clé de la synthèse des polyamines. Le groupe rejoint dans ce domaine les conclusions de Jukka Juutilainen qui, en rapportant ces travaux, les a qualifiés de potentiellement importants, et considère que ce champ de recherche doit être activement poursuivi.*

*Le groupe d'experts observe que le problème des stations de base, malgré ses forts retentissements médiatiques actuels, n'est que très faiblement abordé dans cet ouvrage.*

*En conclusion générale, bien que les résultats de travaux menés à cette date ne mettent pas en évidence avec certitude de risque sanitaire, il reste nécessaire d'évaluer les possibles retentissements sanitaires futurs des modifications biologiques observées. De nombreux projets internationaux de recherche, cités dans l'ouvrage de l'Académie, sont actuellement poursuivis dans ce but.*

### **ANALYSE DU RAPPORT DE ESSOR-EUROPE**

***Critique du rapport intitulé "Effets physiologiques et environnementaux des champs électromagnétiques" rédigé par la société Essor-Europe (Jean-Pierre Chevillot, Jean-Pierre Husson, Philippe de Montgolfier) en mai 2000***

Ce rapport avait été initialement commandé par le STOA<sup>22</sup> du Parlement Européen. Il concerne l'ensemble du spectre électromagnétique non-ionisant et en particulier les gammes très basses fréquences-ELF du transport de l'électricité et les RF de la téléphonie mobile.

L'information nécessaire à la rédaction du rapport a été rassemblée de diverses manières : analyse de l'information disponible sur Internet, envoi d'un questionnaire à 45 experts, analyse de rapports internationaux, auditions de 25 personnalités, et révision finale du rapport par trois experts internationaux (U. Bergqvist, M. Repacholi et B. Veyret).

Le rapport concerne aussi bien la recherche que la gestion des risques. Les points suivants sont en particulier développés :

- Adéquation des mesures de réglementation,
- Attention particulière à certaines populations éventuellement plus fragiles,
- Connaissance des mécanismes d'interaction des champs avec l'organisme humain,
- Connaissance des champs présents dans l'environnement et information du public.

*Conclusions résumées du rapport :*

#### **1- Données issues de la recherche**

La conclusion générale du rapport est que les résultats de recherche sur lesquels les normes d'exposition sont établies confirment les effets de nature thermique, mais n'apportent pas de preuves de l'existence d'effets délétères associés aux bas niveaux d'exposition rencontrés dans les situations normales professionnelles et résidentielles. Pourtant, certains effets biologiques semblent être observés à bas niveau, qui doivent être confirmés pour que l'on puisse les prendre en compte dans la révision des normes.

Les effets qui doivent être clarifiés en priorité sont les suivants:

- promotion des tumeurs,
- perméabilité de la barrière hémato-encéphalique, EEG,

---

<sup>22</sup> Scientific and Technical Options Assessment

- altération de la pression artérielle,
- systèmes immunitaire et endocrinien,
- niveaux d'hormones et en particulier de la mélatonine,
- activité de l'enzyme ornithine décarboxylase (ODC)
- transport de l'ion calcium,
- altération de l'ADN.

Une attention particulière devrait être portée aux “co-facteurs” qui pourraient augmenter la sensibilité des systèmes biologiques aux actions des champs électromagnétiques. Trois catégories de tels co-facteurs peuvent être envisagées :

- Facteurs agressifs présents dans l'environnement tels que les produits chimiques associés à la pollution atmosphérique
- Rayonnements ionisants
- Fragilité psycho-somatique ou physiologique de certains individus. Le stress devrait être pris en compte ainsi que l'hypersensibilité déclarée de certaines personnes à l'électricité.

La question de la fragilité éventuelle des enfants est également envisagée. Si aucun effet particulier des téléphones mobiles et des stations de base n'a été observé, c'est, selon le rapport, en partie à cause du très faible nombre d'études spécifiques. La question est complexe car les données objectives manquent. Pourtant, il semble que le facteur de réduction de cinq par rapport aux limites professionnelles est adéquat pour protéger les enfants. Pour mieux cerner le problème il faudra obtenir des données objectives supplémentaires.

## 2- *Recommandations du rapport*

Le rapport recommande une attitude générale de “vigilance éclairée et responsable” (“Educated and responsible awareness”).

- Les données scientifiques disponibles ne justifient pas une révision anticipée de la recommandation européenne récente. Il serait même souhaitable que cette recommandation devienne une directive.
- Plusieurs thèmes de recherche devraient être privilégiés : effets éventuels des expositions longues à bas niveau ; effets éventuels sur les population *a priori* plus fragiles (enfants, vieillards, malades) ; études cliniques des symptômes ; études des mécanismes d'interaction,
- Education du public dans un souci de transparence,
- Signalisation des sources et cartographie des émissions autour des émetteurs puissants,
- Création de laboratoires possédant la compétence et les techniciens pour effectuer des mesures de champs sur demande,
- Etablissement de structures de dialogue entre acteurs et utilisateurs. Une étude de type Delphi pourrait contribuer à ce dialogue.

<i>Conclusions du groupe d'experts sur le rapport d'Essor-Europe :</i>
--

*Ce rapport couvre l'ensemble du spectre et résume les connaissances scientifiques dans des tables qui contiennent des exemples. Il ne s'agit pas d'une compilation exhaustive, et il n'est pas de même nature que les rapports de synthèse considérés par ailleurs.*

*L'objectif de ce rapport était de dégager les grandes lignes d'interprétation des données scientifiques actuelles et de fournir des recommandations sous forme d'options. Son intérêt est d'avoir été écrit après consultation d'un grand nombre d'acteurs scientifiques et industriels de tous bords.*

*Les conclusions sur l'attention qui doit être portée aux enfants sont raisonnables, même si les éléments scientifiques correspondants ne sont pas fournis explicitement.*

*Ce rapport n'a pas connu de dissémination importante en raison de réactions politiques vives contre ses conclusions. C'est dommage, car il constitue un complément utile aux autres rapports internationaux récents.*

## **ANALYSE DES RAPPORTS DU COMAR (Committee on Man and Radiation de l'IEEE)**

Le Comité sur l'Homme et les Rayonnements de l'Institut d'Ingénieurs de l'Electricité et de l'Electronique a édité deux rapports sur la question de l'impact sanitaire chez l'homme des appareils de téléphonie mobile et de leurs stations de base.

### **I - Exposition humaine aux rayonnements radiofréquences et micro-ondes des téléphones mobiles et autres appareils de télécommunications**

Plusieurs organisations nationales et internationales ont établi des recommandations sur l'exposition humaine aux champs radiofréquences. Ces recommandations sont globalement homogènes.

Les mesures ont montré que l'exposition des individus liée à l'usage du téléphone cellulaire et autres systèmes de transmission sans fil de faible puissance restait normalement dans les limites des valeurs recommandées. Quelques-uns de ces systèmes peuvent perturber le fonctionnement d'implants actifs comme les stimulateurs cardiaques, lorsqu'ils sont placés à leur contact. Les porteurs de tels implants doivent demander l'avis de leur médecin en ce qui concerne les risques d'utiliser des appareils de télécommunication mobile.

Les fréquences utilisées aux Etats-Unis sont décrites. La puissance émise ainsi que la distance d'utilisation doivent être définies : les appareils tenus à la main ont une puissance faible et sont très proches du corps, tandis que les appareils mobiles fonctionnent à plus forte puissance, mais sont localisés à distance de l'utilisateur.

La structure des recommandations est décrite, avec deux groupes de limites : pour l'exposition professionnelle ou publique, notions parfois remplacées par celles d'environnement contrôlé ou non-contrôlé. Il existe en général un facteur 5 entre ces deux groupes de limites. Des particularités sont prévues pour différentes conditions d'exposition : exposition corps entier ou exposition locale, faible durée, etc... La norme IEEE exclue la nécessité de contrôler l'exposition les appareils de faible puissance dont font partie la majorité des appareils de radiocommunication cellulaire.

Les bases scientifiques de la détermination des valeurs limites sont ensuite présentées (cf. chapitre III "Les valeurs limites d'exposition"). Une hypothèse, non vérifiée, est que la perturbation de l'apprentissage chez les primates au niveau de DAS de 4 W/kg est transposable à l'homme. Malgré de nombreuses spéculations scientifiques, aucun mécanisme n'a été établi par lequel des champs électromagnétiques à des niveaux en dessous des valeurs recommandées pourraient entraîner des lésions biologiques avec des conséquences pathologiques.

Peu d'informations sont disponibles sur l'exposition humaine, et en particulier à long terme. Deux études épidémiologiques négatives sont citées : celles de Rothman et Hardell, en reconnaissant que le recul est insuffisant.

Il n'y a pas d'évidence que l'exposition aux champs radiofréquences à des valeurs inférieures aux limites recommandées soit nocive pour la santé. Les téléphones cellulaires doivent être conformes aux recommandations. En raison d'un important facteur de sécurité inclus dans les normes, les valeurs recommandées sont bien en dessous des seuils prévisibles de risque. La plupart des téléphones satisfont les normes, mais au moins un constructeur a dû récupérer des téléphones cellulaires qui dépassaient légèrement le DAS recommandé. Les téléphones numériques plus récents fonctionnent à des puissances plus faibles que les anciens analogiques, et respectent d'autant plus les normes.

Conclusion : les DASs produits par les téléphones cellulaires et autres systèmes de radiocommunication ne dépassent pas les valeurs recommandées par les organismes de normalisation. L'évidence scientifique à ce jour ne montre pas de risque pour la santé de ces appareils. Un risque d'interférence existe lorsqu'ils sont utilisés à proximité d'implants actifs.

Commentaires du groupe d'experts : *le recul est en effet insuffisant dans l'étude de Rothman, ainsi que dans celle de Hardell qu'il est prévu de prolonger jusqu'à 1000 sujets.*

## **II - Considérations sanitaires associées aux stations de base utilisées pour les radiocommunications**

Dans la plupart des cas, l'exposition du public aux champs RF des stations de base est nettement inférieure aux valeurs limites recommandées. Dans certains cas inhabituels, lorsque les antennes sont placées sur les toits et en fonction de leur accessibilité, ces niveaux pourraient être dépassés. L'accès de tels sites devrait être protégé ou au moins signalé. Les personnels susceptibles d'être ainsi exposés à des antennes en émission doivent suivre des procédures opératoires, incluant éventuellement l'utilisation de dosimètres ou d'alarmes. A la limite, si les personnels doivent impérativement intervenir sur ou près d'antennes en émission, ils peuvent porter des vêtements protecteurs pour diminuer l'exposition. De plus, le faisceau peut produire des interférences avec les implants actifs comme les stimulateurs cardiaques. Les personnels équipés de tels implants doivent demander l'avis de leur médecin avant de travailler à proximité de ces antennes.

L'emplacement d'une station de base est conditionné par deux besoins : celui de couvrir une cellule, et celui de fournir la capacité de trafic nécessaire. Lorsqu'un système se développe, les stations sont installées de plus en plus près pour accroître la capacité du réseau, mais elles fonctionnent à des puissances plus faibles pour limiter le risque d'interférences entre les stations de base. La hauteur des antennes est critique, et est typiquement de 10 à 100 m.

Aux Etats-Unis, la Commission Fédérale des Communications (FCC) régule les niveaux des stations de base. La puissance rayonnée efficace est limitée à 500 watts par canal ; une station de base peut utiliser 21 canaux ou plus par secteur (parfois 96). En ville, de nombreuses stations de base utilisent seulement 16 watts par canal. Dans certains bâtiments, les micro cellules fonctionnent même à moins de 1 watt par canal.

Le faisceau émis par une antenne de station de base est étroit dans le plan vertical, et étalé dans le plan horizontal (typiquement 6° en hauteur et 120° d'ouverture horizontale). En dehors du faisceau, comme c'est le cas immédiatement en dessous d'une antenne, l'intensité du champ RF est très faible. Le maximum du champ auquel un individu peut être normalement exposé se situe à l'endroit où le faisceau touche le sol, habituellement entre 50 et 200 m de la base de la tour. Ce maximum est déjà très en dessous des valeurs limites recommandées. A l'intérieur des bâtiments, l'intensité des champs est plus faible qu'à l'extérieur, aussi bien directement en dessous de l'antenne qu'aux alentours.

Conclusion : les niveaux d'exposition du public par les antennes de stations de base sont très inférieurs aux valeurs recommandées. Les stations de base ne constituent donc pas un risque pour la population générale, y compris les personnes âgées, les femmes enceintes et les enfants.

**Lorsque des personnes peuvent être exposées à des niveaux supérieurs aux valeurs recommandées, l'accès doit être protégé ou signalé et des procédures opératoires de prévention, de protection ou d'alarme doivent être mises en œuvre. Un risque particulier existe d'interférence avec les implants actifs.**

*Le groupe d'experts est d'accord avec les conclusions du COMAR sur les stations de base.*

### **ANALYSE DU RAPPORT AU GOUVERNEMENT SUEDOIS « SYNTHÈSE SUR LES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES ET LA SANTE »**

Le gouvernement Suédois a commandité en 1997 une évaluation scientifique des travaux réalisés dans le pays et au plan international sur les risques pour la santé liés aux champs électromagnétiques. Le récent et volumineux rapport présenté par l'Institut de santé environnementale et professionnelle expose les résultats de cette mission<sup>23</sup>. Constitué de deux parties et de plusieurs annexes, il aborde divers segments du spectre électromagnétique non ionisant; une synthèse en a été rédigée en langue anglaise (4 pages), qui seule a pu être analysée. Ne sont considérées ici que les conclusions relevant des RF.

La méthode suivie est proche de celle adoptée par le groupe d'experts français. En soulignant combien les protocoles d'observation et d'expérimentation sont variés, les auteurs de la revue considèrent que, pour conclure, il faut appréhender l'ensemble des travaux publiés sur une hypothèse donnée, et non les seuls résultats d'une étude singulière.

Considérant d'abord les expositions aux RF en milieu professionnel (autres que les téléphones mobiles), les auteurs observent que divers effets ont été associée à des hausses de températures corporelles de 1 à 2°C (effets sur le comportement, sur le système neuromusculaire, baisse des performances...).

En revanche, pour des expositions respectant les valeurs de référence de la réglementation, c'est à dire pour des expositions sans effet thermique, ils indiquent qu'il n'a pas été montré à ce jour de risque accru de cancer, que ce soit au terme d'études expérimentales animales ou de travaux épidémiologiques. Même dans les conditions les plus défavorables de communication, les niveaux d'exposition des utilisateurs de téléphones sont inférieurs à ces valeurs de référence. Si certaines études mettent en évidence divers effets biologiques, l'évidence scientifique actuelle n'est pas en faveur de conséquences sanitaires de l'utilisation de mobiles, selon ces auteurs.

Un partie de la synthèse est consacrée au problème posé par les personnes déclarant une 'hyper-sensibilité' aux RF. Le rapport conclue sur ce point qu'aucun facteur particulier associé aux RF n'a pu être à ce jour mis en relation avec ces troubles déclarés. Ils n'écartent pas l'idée qu'une combinaison de facteurs internes (régulation du système nerveux végétatif) ou externes (d'origine physique, chimique et/ou psychosociale) puissent, chez certaines personnes très particulières, produire des effets inexpliqués. Ils soulignent que cette question peut, en soit, représenter un problème de santé publique qui mérite recherches et attention particulières.

---

<sup>23</sup> 'Eloverkanslighet och halsorisker av elektriska och magnetiska fält. Forskningsöversikt och uivardering'. Slutrapport fran arbetsgruppen vid. Radet for arbetslivsforskning. Ulf Bergqvist, Lena Hillert et Elisabeth Birke, Novembre 2000

En conclusion, le rapport appelle des travaux visant à vérifier que ces conclusions, fondées sur les données relatives aux RF actuellement en usage, seront extrapolables aux autres gammes de RF associés aux développement technologiques des radio-communications.

### ***ANALYSE DU COLLOQUE DE L'ASSEMBLEE NATIONALE « TELEPHONES PORTABLES : UN DANGER POUR LA SANTE ? » (19 JUIN 2000)***

Ce colloque a été organisé à l'initiative d'un groupe de députés (A. Aschiéri, J.-F. Mattéi, J.-P. Brard, M. Rivasi, F. Loos, P. Lellouche). MM. Loos et Mattéi n'ont pas participé à la réunion. Environ 150 personnes y assistaient. Le contenu de la proposition de loi que les six députés comptent déposer a par ailleurs été développé par P. Lellouche. Ce Colloque était divisé en trois parties principales : législation, effets sur la santé, gestion des risques. Seule la deuxième partie a fait l'objet de communications écrites : cette analyse ne concerne donc que les interventions concernant la santé ayant un caractère technique ou scientifique, qui relèvent de la compétence du groupe d'experts.

#### **COMMUNICATION DE R. SANTINI**

**Maître de conférence à l'INSA de Lyon, R Santini défend l'idée que les normes actuelles sont inadaptées et considère que les effets sanitaires non-thermiques doivent être pris en compte. Il a récemment réalisé une enquête de faible puissance statistique sur les étudiants de son institut. Il s'agissait de déterminer si les utilisateurs de téléphones mobiles ressentent plus souvent que les non-utilisateurs des symptômes tels que fatigue, maux de tête, etc. Les résultats de cette étude, qui sont essentiellement négatifs, ont été soumis pour publication.**

#### **COMMUNICATION DE G. J. HYLAND**

L'exposé de GJ Hyland propose un mécanisme théorique pour tenter d'expliquer les éventuels effets sur la santé des RF : la biocompatibilité par compensation électromagnétique. Depuis le Colloque, GJ Hyland a publié cette perspective théorique dans une prestigieuse revue médicale internationale (*GJ Hyland. Physics and biology of mobile telephony. The Lancet 2000;356:1833-36*) ; cet article étant discuté par ailleurs, nous renvoyons à cette analyse (cf critiques des articles récents).

#### **COMMUNICATION DE G. CARLO**

G. Carlo a été le président de *Wireless Technology Research (WTR)* qui était un organisme privé chargé de développer aux USA un vaste programme de recherche financé par l'industrie. Ce sont les principaux résultats acquis dans le cadre du programme WTR qui ont été résumés lors du Colloque. Ces résultats (parfois encore provisoires) concernent des domaines variés et couvrant des disciplines scientifiques diversifiées : études de génotoxicité notamment *in vivo* et études épidémiologiques essentiellement. On n'analysera pas ici ces résultats, qui sont publiés pour la plupart et dont la discussion est incluse dans d'autres sections du rapport. Il est important de souligner que la principale conclusion proposée par G. Carlo en tenant compte des résultats scientifiques est que les téléphones mobiles présentent un véritable problème de santé publique, et qu'une approche de santé publique est celle qui s'impose dès maintenant. En termes de recherche et de surveillance, ceci implique des travaux centrés sur le recueil systématique de données diverses (plaintes d'utilisateurs, cohortes d'utilisateurs, études concernant les enfants et les femmes enceintes), travaux sur l'adéquation du DAS, sur les effets sur le cerveau, sur les comportements des utilisateurs de téléphones mobiles. Finalement, G. Carlo propose des recommandations concernant l'usage des téléphones mobiles, qui relèvent de fait de « *l'évitement prudent* » (bien que ce terme ne soit pas utilisé).

Il est intéressant de rappeler l'organisation de ce vaste programme de recherche financé par l'industrie, et les dispositifs mis en place pour en garantir la qualité et l'indépendance. Ceux-ci

imposent une revue systématique par les pairs des projets de recherche et des résultats, le processus de révision étant coordonné par une institution universitaire prestigieuse (*Harvard School of Public Health*) et impliquant des règles strictes de qualité et de transparence ; des organismes publics sont également impliqués dans toutes les étapes du processus d'examen et de suivi des protocoles de recherche (FDA, FCC, EPA, NCI, NIOSH, etc.).

#### **COMMUNICATION DE B. VEYRET**

Cette communication était destinée essentiellement à présenter le programme français de recherche « COMOBIO » ; ce programme étant présenté par ailleurs, nous renvoyons à la section correspondante du rapport (chapitre V-1).

#### **COMMUNICATION DE M. BASTIDE**

M. Bastide (*Laboratoire d'Immunologie et Parasitologie de la Faculté de Pharmacie de Montpellier*) présentait les résultats de travaux de recherche concernant les effets sur la mortalité embryonnaire et le système hormonal chez l'animal provoqués par les champs électromagnétiques émis par les téléphones mobiles. Ces résultats, qui montrent des effets extrêmement importants sur la mortalité embryonnaire du poulet et sur les hormones de stress chez la jeune souris, sont tout à fait originaux et uniques dans la littérature scientifique internationale. A ce titre, ils suscitent évidemment un grand intérêt, mais imposent absolument des répliques indépendantes avant de pouvoir être pris en considération, d'autant plus que les protocoles expérimentaux mis en œuvre sont décrits de façon très succincte, et ne semblent pas correspondre à des conditions d'exposition réalistes.

D'autres exposés ont été faits par MM J Wiart, de France Télécom, JC Bouillet, de Bouygues Telecom, G Dixsaut, de la Direction Générale de la santé et R de Sèze (membre du groupe d'experts).

## ***ANALYSE DU RAPPORT C. SAGE***

### ***Rapport du 15 octobre 1999 présenté au Parlement écossais***

Dans une première partie, Cindy Sage, qui est consultante, présente au Comité du Transport et de l'Environnement du Parlement écossais ses commentaires sur les informations qu'elle estime nécessaire de prendre en compte pour formuler un avis sur les effets éventuels sur la santé des radiocommunications "en l'état actuel des connaissances". Dans une deuxième partie, elle cite les articles scientifiques qui lui paraissent importants à prendre en considération.

#### Commentaires

Le développement des radiocommunications se traduit par une exposition cumulative à long terme sans précédent dans l'histoire humaine. Il est évident que des effets biologiques sont produits par l'exposition aux rayonnements radiofréquences (RF). Il n'y a pas d'étude scientifique concluante sur la sécurité de telles expositions, et certains travaux suggèrent que des effets sanitaires graves pourraient survenir au décours d'une exposition cumulative ou chronique. Le comité devrait recommander des "précautions de santé publique" : inciter fortement à limiter les niveaux d'exposition des populations du monde entier à leur minimum jusqu'à ce que des recherches complémentaires puissent clarifier les risques, et prévenir qu'une exposition cumulative du public à des RRF peuvent éventuellement être dangereuses, au vu des résultats scientifiques existants.

Le principe de précaution est souvent avancé en raison du risque de santé publique majeur possible si une telle exposition s'avérait carcinogène ou à l'origine d'autres effets nocifs. Même si le risque individuel est faible, ce qui n'est actuellement pas connu, le nombre considérable de personnes de par le monde qui pourrait y être soumis rend ce choix stratégique critique. La révolution virtuelle qui apparaît maintenant dans le monde scientifique est la reconnaissance croissante qu'une exposition de faible intensité ou "non-thermique" peut être détectée dans les tissus vivants et se traduire par des effets biologiques bien définis. Les effets biologiques d'une exposition RF incluent des modifications de la fonction membranaire des cellules, du métabolisme, des communications intra et intercellulaires, une activation de proto-oncogènes et la mort cellulaire. Les effets résultants cités dans la littérature scientifique incluent des ruptures d'ADN et des aberrations chromosomiques, une augmentation des radicaux libres, une agression cellulaire et un vieillissement prématuré, des modifications des fonctions cérébrales comprenant des pertes de mémoire, une altération de l'apprentissage, des maux de tête et de la fatigue, des troubles du sommeil, des conditions de neurodégénérescence, une réduction de la sécrétion de mélatonine, et le cancer.

Selon Cindy Sage, le comité du transport et de l'environnement devrait exiger que l'industrie des télécommunications fournisse une information complète, honnête et factuelle aux consommateurs, qu'elle contrôle indépendamment tout effet sur la santé lié à l'utilisation des téléphones mobiles, et qu'elle incite fortement le public à participer aux procédures d'élaboration des stratégies et à la normalisation sur les expositions et les technologies des RF. Les Etats-Unis ont de fait vis-à-vis des radiotéléphones une stratégie de "surveillance après vente" : cela signifie que des études auront lieu seulement après plusieurs années d'utilisation pour en définir les éventuelles conséquences sanitaires. En bref, "nous faisons l'expérience" des effets sanitaires. Le comité devrait rejeter la surveillance après-vente car elle ne permet pas la protection des utilisateurs.

Tandis que la communauté scientifique continue à étudier et analyser les bases physiques des effets des champs électromagnétiques sur les systèmes vivants, il n'y a pas grand-chose de fait pour protéger ou informer le public sur les conséquences d'une confiance aveugle dans ces technologies nouvelles. Pour tout le bien que l'on peut attendre de telles inventions, nous devons rester vigilants vis à vis d'éventuelles conséquences imprévues.

**Commentaires du groupe d'experts: de nombreuses études n'ont pas montré de risque pour la santé. Il semble que, pour cet auteur, tant qu'un effet grave n'a pas été démontré, les études ne sont pas concluantes. On peut déjà affirmer que si un risque existe, il est forcément faible, puisqu'il existe déjà de nombreux résultats expérimentaux négatifs. Une exposition non thermique peut effectivement être détectée dans les tissus vivants, mais il paraît présomptueux de dire que les effets biologiques qui en découlent sont bien définis. Les effets sur la fonction membranaire ne sont pas explicités, ce qui gêne pour savoir à quels effets l'auteur fait allusion. Il n'a pas été décrit de mort cellulaire sauf à des niveaux thermiques très élevés.**

*Comme le montreront les commentaires sur les études citées en référence, les effets indiqués sont soit loin d'être confirmés, soit dus à une exposition dont les caractéristiques sont très différentes de celles des radiotéléphones : impulsions radar de forte puissance crête ou émissions de forte puissance moyenne.*

*De nombreuses études ont été réalisées aux Etats-Unis ces dernières années, bien avant que les études épidémiologiques ne viennent compléter les résultats peu inquiétants publiés à ce jour.*

#### Articles scientifiques importants

L'évidence d'une association entre les RF et les effets biologiques dans les systèmes vivants s'étend à tous les niveaux, de l'atome (ion calcium) ou de la molécule (ADN) aux humains et autres espèces de mammifères. Depuis 50 ans, les expérimentations à travers l'ensemble du spectre électromagnétique ont trouvé des effets biologiques sur un grand nombre d'espèces, de la souris à l'homme. La cascade des événements biologiques, chimiques et physiques qui se déroulent dans les systèmes vivants en réponse à des RRF est de mieux en mieux comprise au fur et à mesure que la communauté scientifique multidisciplinaire mûrit. Les risques pathologiques ne sont pas le seul enjeu de cette recherche ; les applications médicales potentielles des RRF constituent une source incomparable de guérison et de bien-être.

*Commentaires du groupe d'experts : il existe effectivement des effets sur tous les systèmes biologiques, dont quelques-uns de faible amplitude sont reproductibles, mais dont la majorité ne le sont pas, en particulier ceux de forte amplitude. Les effets dans la gamme des très basses fréquences (ELF) sont plus consistants que ceux rapportés dans le domaine des RF.*

#### **Effets sur l'ADN**

Les travaux de Lai sur les ruptures d'ADN évaluées par le test de comète après exposition à des RRF à 2450 MHz sont rappelés, de même que ceux de Jerry Phillips. Phillips a suggéré que le taux de réparation de l'ADN puisse être altéré par les RF. Cet auteur a trouvé un effet identique avec un champ d'extrêmement basse fréquence (ELF) de 100  $\mu$ T à 60Hz. Il postule que les champs ELF puissent augmenter les lésions de l'ADN et inhiber les processus de réparation, et aboutir à une mort cellulaire (apoptose).

La sagesse conventionnelle voulait que les micro-ondes ne soient pas génotoxiques à moins qu'un échauffement important ne soit produit.

Blank et Goodman (1997) postulent que le mécanisme de transduction du signal EM dans la membrane cellulaire peut être expliqué par une interaction directe des champs électriques et magnétiques avec les charges mobiles des enzymes. Des études récentes sur l'ADN montrent que des flux importants d'électrons peuvent exister à l'intérieur des paires de bases de la double hélice des molécules d'ADN. Donc l'activation de gènes par des champs magnétiques pourrait être due à une interaction directe avec les électrons circulants dans l'ADN. Tant les champs électriques que magnétiques stimulent la transcription des gènes et les deux types de champs pourraient interagir directement avec l'ADN. Un travail antérieur de Goodman et Blank sur les protéines de choc thermique, cité dans leur article de 1997, montre que la réponse cellulaire aux champs EM est une

activation du même système de réponse aux agressions que lors d'un échauffement, mais à une énergie bien plus faible que la réponse au choc thermique (voir § "Transcription des gènes et induction").

Commentaires du groupe d'experts: *les hypothèses de Phillips sur l'apoptose n'ont pas été confirmées par des expérimentations, et concernent de plus les ELF. De même que les hypothèses de Blank et Goodman sur l'interaction avec des charges libres, que ce soit dans des enzymes ou dans des molécules d'ADN.*

#### **Aberrations chromosomiques et micronoyaux**

Maes et al (1993) ont publié une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques et des micronoyaux à des niveaux non thermiques. Un type d'aberrations observé (les chromosomes dicentriques) est un indicateur des lésions dues aux rayonnements ionisants. Ces résultats sont cohérents avec les résultats de lésions des micro-ondes à d'autres fréquences et densités de puissance rapportées par d'autres chercheurs (Leonard et al, 1983 ; Garaj-Vrhovac et al, 1990, 1991 ; d'Ambrosio et al, 1992).

Maes et al (1995) ont publié une augmentation des aberrations chromosomiques dans des cellules de sang entier placé pendant 2 heures à 5 cm ou moins d'une antenne GSM. Les effets d'une exposition combinée à des RF de 954 MHz et au mutagène mitomycine C (MMC) ont également été étudiés par les mêmes auteurs sur des lymphocytes humains (*référence non citée : Maes et al, 1996*). Les échantillons, soumis à un DAS de 1,5 W/kg et à la MMC, ont présenté une nette augmentation d'une forme d'aberration chromosomique : les translocations (échanges de chromatides sœurs) par rapport à la MMC seule. Des ruptures d'ADN simple brin ont aussi été rapportées.

Commentaires du groupe d'experts : *l'étude de Maes de 1993 a été réalisée à 75 W/kg, DAS qui ne peut pas être qualifié de non thermique, même avec une thermostatisation permettant un contrôle précis de la température à 36,1°C. La cohérence avec d'autres études non référencées par Sage ne ressort pas vraiment des résumés des articles publiés par Information Ventures dans la base de données bibliographique EMF Database : Leonard indique que la plupart des résultats des études de mutagénicité sont négatives sauf à des niveaux thermiques, mais que l'exposition à des niveaux sub thermiques pourrait potentialiser d'autres agents mutagènes comme les UV ou des substances chimiques. De même, l'étude de D'Ambrosio montre un effet mutagène, mais à un niveau clairement thermique de 100 W/kg avec augmentation de température de 5°C.*

*Dans son étude de 1995, Maes dit clairement que les différences observées ne sont pas significatives. Dans celle de 1996 qui associe l'exposition aux RF à celle d'un agent mutagène : la mitomycine C, les résultats indiquent un effet clair de la MMC par rapport aux micro-ondes seules, mais il n'est pas montré que l'inverse soit significatif, à savoir MMC + micro-ondes par rapport à MMC seule.*

#### **Effets sur l'ornithine décarboxylase (ODC)**

L'ornithine décarboxylase est une enzyme dont la concentration et l'activité sont nettement augmentées dans les tissus en croissance et notamment dans les tumeurs. L'équipe de Litovitz a montré dans plusieurs articles que l'activité de cette enzyme était nettement modifiée par un champ à 835 MHz et à un DAS de 2,5 W/kg, modulé en amplitude à très basse fréquence entre 16 et 65 Hz.

Commentaire du groupe d'experts : *L'amplitude de l'effet observé est d'un facteur 2 ; tandis que l'augmentation d'activité dans les cellules tumorales sous l'effet de promoteurs de tumeurs est d'un facteur 400 à 500.*

#### **Transcription des gènes et induction**

Goswami et al (1999) ont rapporté un doublement de la concentration en ARN messager pour le proto-oncogène Fos dans des fibroblastes exposés au champ d'un radiotéléphone cellulaire. L'émission était continue à 835 MHz, modulée en fréquence. Une augmentation moins importante a été obtenue à 847 MHz du système CDMA.

Commentaire du groupe d'experts : *le DAS utilisé n'est pas précisé dans ce rapport. Il est permis de supposer que Fos est employé à la place de c-fos.*

### **Réponse aux agressions**

Daniells et al (1999) ont trouvé que les vers produisaient une réponse aux micro-ondes similaire à celles liées à un échauffement ou à des molécules chimiques toxiques. Le modèle utilisé montre que les plus faibles intensités induisent les plus fortes réponses (à l'inverse d'un échauffement simple). Le rayonnement micro-ondes produit des lésions des protéines dans les cellules (induction de protéines de choc thermique) comparables à des lésions dues à des ions métalliques qui sont reconnues comme toxiques.

Commentaire du groupe d'experts : *il faut préciser les DAS utilisés et l'amplitude de la réponse obtenue. De même, pour la comparaison avec les ions métalliques toxiques, il faut préciser la concentration équivalente et l'amplitude de l'effet toxique mesuré.*

### **Effets cellulaires des rayonnements micro-ondes**

L'équilibre des ions calcium est très important dans le bon fonctionnement des communications cellulaires, de la croissance et d'autres processus fondamentaux des systèmes vivants. W. Ross Adey et son équipe ont précisé la cascade d'évènements qui aboutissent à l'altération des fonctions cellulaires par les RF.

Adey (1993) a rédigé un résumé explicite sur les effets des micro-ondes au niveau cellulaire qui étaye le concept de réponse athermique. Il discute l'importance des radicaux libres dans de nombreux phénomènes en particulier pathologiques comme des maladies neurologiques, cardio-vasculaires ou le cancer. L'exposition micro-onde à des niveaux athermiques peut avoir le même effet que des promoteurs du cancer. Il recommande que les effets biologiques des micro-ondes de faible puissance fassent l'objet de recherches complémentaires, plus spécialement en ce qui concerne les processus coopératifs dynamiques ("hors équilibre") non linéaires.

Dutta et al (1989) ont publié des modifications des concentrations en calcium dans les cellules de différentes espèces, avec des RF modulés en amplitude à un DAS aussi faible que 0,05 ou 0,005 W/kg. Selon les auteurs, ces résultats confirment que des RF modulés en amplitude peuvent induire des réponses dans les cellules de différentes espèces.

Commentaires du groupe d'experts : *l'équilibre des ions calcium est important, mais la précision de leur concentration n'est pas aussi critique que celle des concentrations intra- et extra-cellulaire en sodium et en potassium, par exemple. Seules de très fortes variations de concentration, de l'ordre d'un facteur 100 à 1000, sont associées à des fonctions cellulaires comme la sécrétion, la contraction, la genèse d'un potentiel d'action, une division ou une différenciation. Lorsque les variations produites par des micro-ondes de faible puissance sont de 50 à 100% (un facteur 1,5 à 2), on ne peut pas parler "d'altération des fonctions cellulaires", ni réellement de réponses induites. Ce sont seulement des fluctuations dont l'amplitude est très faible par rapport aux variations spontanées que l'on peut observer sur ces systèmes.*

*Il est par ailleurs très douteux que Adey ait écrit que " l'exposition micro-onde à des niveaux athermiques peut avoir le même effet que des promoteurs du cancer". Même si c'est le cas, ce qui est à vérifier, cela n'a pas été montré.*

### **Effets cellulaires sur le système immunitaire**

Lyle et al (1983) ont rapporté que des RF modulés en amplitude à 60 Hz inhibaient l'activité de lymphocytes dits "cytotoxiques" (capables de tuer une cellule reconnue comme agressive pour l'organisme).

Veyret et al (1991) ont trouvé une modification significative du système immunitaire avec des micro-ondes pulsées et modulées en amplitude à un DAS de 0,015 W/kg.

Elekes (1996) a trouvé une légère augmentation de la production d'anticorps chez des souris mâles (mais pas chez les femelles!) avec des RF modulés en amplitude. Les auteurs postulent que la faible amplitude de l'effet observé peut être liée à la brièveté de l'exposition.

Commentaires du groupe d'experts : *l'amplitude des effets dans ces études n'est pas indiquée par le rapport Sage. En ce qui concerne l'étude de Veyret et al (1991), les variations observées portent sur*

les concentrations d'anticorps produites par une immunisation et sont au maximum de 50% en plus ou en moins. Comparé à une variation d'un facteur 1000 à 10 000 au décours de la moindre rhinopharyngite, même si l'effet est statistiquement significatif et que les mécanismes restent intéressants à explorer du point de vue fondamental, cet effet n'est pas biologiquement significatif, a fortiori en termes de santé. Il faut vérifier si le même raisonnement peut s'appliquer aux travaux de Lyle et d'Elekes. Le commentaire rapporté par Sage sur la relation entre l'importance de l'effet et la durée de l'exposition suppose un éventuel effet cumulatif qui n'a jamais été démontré. Au contraire, dans certaines études comme celles de Lai par exemple, l'effet apparaît plutôt "cyclique", positif à un moment puis négatif quelques minutes plus tard, sans que l'on ait jamais observé un effet croissant au cours du temps d'exposition.

### **Barrière hémato-encéphalique**

La barrière hémato-encéphalique (BHE) protège le cerveau en empêchant les substances toxiques présentes dans le flux sanguin d'atteindre les tissus cérébraux sensibles.

Salford a montré une fuite à travers la BHE produite par des RF à 915 MHz, aussi bien pulsées que continues. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour savoir si ceci constitue un risque pour la santé. Au moins dix références citées dans son article montrent des effets des RF sur la BHE.

Commentaires du groupe d'experts : *le travail de Salford est contredit par de nombreux autres travaux (Hossmann, ...), mais supporté par d'autres (Albert, 1977), bien qu'à des puissances supérieures. Les travaux de cette époque n'évaluaient pas le DAS. Certains effets cités en référence concernent des expositions de forte puissance. Les molécules mises en évidence sont des molécules normalement présentes dans le cerveau, mais habituellement à de bien moindres concentrations.*

### **Cancer**

A tous les niveaux de l'organisme, il a été montré que les champs électromagnétiques produisent des effets biologiques, qui peuvent être nocifs pour la santé. Les fonctions de base, qui contrôlent la croissance et la prolifération cellulaire, la surveillance immunitaire et la protection vis à vis des toxines, sont diversement altérées, souvent à des niveaux d'exposition rencontrés dans l'environnement. Les études humaines et animales montrent une relation entre l'exposition dans certaines conditions et le cancer. Le problème majeur avec la technologie téléphonique est son expansion rapide de par le monde et l'évidence émergente de tumeurs du cerveau.

Guy et al (1984) ont fait une étude de longue durée sur des rats exposés toute leur vie à des RF à 450 MHz à faible puissance (1 mW/cm<sup>2</sup> ; DAS : 0,15 à 0,4 W/kg). De nombreux travaux antérieurs n'apportaient pas de réponse à la question du risque pour la santé humaine des expositions de faible puissance. Il a rapporté un nombre de tumeurs malignes primitives quatre fois plus élevé (significativement) dans le groupe des animaux exposés que dans le groupe contrôle.

Repacholi et al (1997) ont trouvé 2,4 fois plus de lymphomes parmi des souris exposées pendant 8 mois à des champs de téléphonie mobile que chez les témoins.

Hardell (1999) a publié un risque augmenté de tumeurs malignes du cerveau chez les utilisateurs de téléphones mobiles analogiques, du côté où le téléphone était habituellement utilisé.

Adey (1996) a trouvé un effet protecteur sur les tumeurs du cerveau chez le rat, sans significativité statistique.

Commentaires du groupe d'experts : *les souris dans l'étude de Repacholi étaient des souris transgéniques, c'est à dire génétiquement modifiées pour produire des lymphomes. Si les résultats de cette étude sont confirmés, il sera important d'étudier plus précisément les possibilités d'extrapolation à l'homme ; deux études de réplcation sont en cours. Dans les études de Hardell et Adey, une modification **non significative** ne traduit ni un risque, ni un effet protecteur, mais une impossibilité de conclure dans l'étude concernée. Contrairement à ce qu'écrit Sage, Hardell lui-même interprète son étude comme ne montrant pas de risque. Le travail d'Adey a été publié en 2000.*

### **Symptômes cérébraux attribués aux téléphones mobiles**

Mild et al (1998) ont montré une association significative entre l'utilisation de téléphones mobiles et la prévalence de sensations de chaleur derrière l'oreille, de maux de tête et d'un état de fatigue. Les téléphones GSM étaient moins associés que les téléphones analogues.

Hocking (1998) a également étudié la survenue de symptômes chez l'homme, décrits plus fréquemment avec des téléphones GSM qu'avec des analogiques.

Commentaires du groupe d'experts : *compte tenu d'un échauffement non négligeable des téléphones, probablement supérieur avec des téléphones analogiques de 600 mW par rapport à des GSM de 125 ou 250 mW, la sensation de chaleur ou même les maux de tête ne paraissent pas étonnants. La sensation de fatigue mérite des études complémentaires. L'étude de Hocking est plutôt surprenante en montrant à l'inverse une prédominance des symptômes avec les téléphones GSM.*

### **Effets sur le système nerveux**

Les effets sur le système nerveux ont été étudiés à plusieurs niveaux. Au niveau ionique et moléculaire, de nombreux effets ont été publiés et répliqués à des niveaux de puissance non thermiques. Ces effets incluent des modifications du calcium, des neurotransmetteurs, du comportement et du sommeil.

Lai (1994) a rédigé une revue sur le fonctionnement normal du système nerveux et la façon dont les RF pourraient l'influencer. Les modifications du comportement pourraient constituer les effets les plus sensibles de l'exposition aux RF.

Les flux d'ions calcium dans le cerveau peuvent être modifiés par les RF. Les ions calcium contrôlent de nombreuses fonctions du cerveau et du corps, y compris la sécrétion des neurotransmetteurs et leur action au niveau des récepteurs, et toute modification de ces fonctions pourrait retentir sur la santé.

Commentaire du groupe d'experts : *seules les modifications dont l'amplitude dépasse le "bruit physiologique", c'est-à-dire les variations spontanées du paramètre étudié, sont susceptibles d'avoir un retentissement sur la santé.*

### **Médicaments psychotropes**

Les modifications du fonctionnement des neurotransmetteurs peuvent retentir sur l'action des médicaments psychotropes. Lai en a montré quelques exemples et déduit que les opioïdes endogènes étaient activés par les RF (Lai, 1992, 1994b).

Commentaire du groupe d'experts : *l'hypothèse de Lai est que l'action des RF sur les opioïdes endogènes serait une interaction précoce ou initiale, à l'origine d'autres réactions biologiques ultérieures en cascade.*

### **Sérotonine**

L'activité sérotoninergique est affectée par l'hyperthermie RF (Lai et al, 1984 et Panksepp, 1973 cité par Lai, 1984). Il existe chez l'homme un syndrome d'irritation sérotoninergique qui associe de l'anxiété, des maux de tête, un rougeoiement et un hyperpéristaltisme. Il n'y a pas eu d'autre travail sur les RF et la sérotonine.

Commentaire du groupe d'experts : *ce travail porte sur des puissances élevées. On observe une ressemblance curieuse des symptômes décrits avec ceux d'expositions de faible puissance parfois décrits comme "le syndrome des micro-ondes".*

### **Lésions oculaires**

Des médicaments peuvent augmenter l'effet nocif des RF sur l'œil (Kues et al, 1992)

Commentaires du groupe d'experts : *les impulsions dans cette étude sont de type radar, avec une durée de 10  $\mu$ s toutes les 10 ms, ce qui implique que la puissance crête utilisée dans cette étude est 1000 fois supérieure à la puissance moyenne indiquée. Ainsi, le seuil de 0,05 W/kg pour l'observation d'un effet est en réalité obtenu avec un DAS crête de 50 W/kg. Il est étonnant de retrouver cette étude*

*citée de façon quasiment identique dans le rapport Stewart sans analyse critique : cela incite à penser que certaines contributions externes ont été reprises par le comité d'experts sans vérification des informations fournies.*

### **Modifications du comportement**

Le paradigme de blocage de performances sur lequel sont basés les niveaux acceptables de RF dans les limites thermiques, ne prennent pas en compte des effets des micro-ondes sur des processus cognitifs. Sans interrompre complètement les comportements, de tels effets pourraient les modifier (d'Andrea, 1999 ; Silverman, 1973 ; Raslear et al, 1993).

*Commentaire du groupe d'experts : comme pour les fonctions cellulaires, des altérations des processus cognitifs ne sont nocifs pour la santé que si leur mise en oeuvre intervient normalement pendant l'exposition, ou si les effets se prolongent après l'exposition. Dans ce cas, il faudrait alors effectivement revoir les normes actuelles.*

### **Apprentissage et mémoire**

Lai et al (1994) ont décrit une diminution de l'apprentissage dans un labyrinthe en étoile. Cet effet était inhibé par un médicament qui stimule l'activité cholinergique.

*Commentaire du groupe d'experts : encore une fois, le RF utilisé par Lai est émis sous forme d'impulsions très courtes (2 µs toutes les 2 ms), ce qui se traduit par une puissance-crête 1000 fois supérieure à la puissance moyenne de 0,6 W/kg, soit 600 W/kg crête. On peut tout à fait concevoir des effets de tels rayonnements.*

### **Fonctions cognitives**

Preece (1999) a montré une accélération du temps de réaction humain devant une décision à prendre. Cette accélération était d'autant plus importante que la puissance était élevée.

*Commentaire du groupe d'experts : la référence citée par Sage ne correspond pas à celle à l'étude qu'elle décrit. Il n'y avait un effet significatif qu'avec les téléphones analogiques, qui ont effectivement une puissance plus élevée que les GSM. Ceci indique plus un seuil qu'une relation dose-effet telle que le suggère Sage.*

### **Sommeil**

Une diminution du sommeil paradoxal (période de rêve) a été publiée par Mann et al (1996).

*Commentaire du groupe d'experts : cet effet n'a pas été confirmé par la même équipe dans 2 études ultérieures : Wagner et al (1998) et Röschke et al (2000), ni retrouvé de façon identique par d'autres équipes (Borbely, 2000).*

## **ANALYSE DE L'ARTICLE DE J.M. ELWOOD**

A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure.  
Environ. Health Perspect. 1999, 107(supp1), 155-168

Cet article a été soumis à la revue EHP en 1998 ; il effectue une revue critique des études épidémiologiques publiées entre 1988 et 1998 sur le risque de cancer en lien avec l'exposition aux RF. La gamme des RF considérée s'étend aux ondes radar, radio et télévision, dans le voisinage d'émetteurs, ou dans le cadre de diverses professions de l'électronique et des télécommunications. Les premières publications relatives à la téléphonie mobile sont concomitantes. Cet article présente donc l'intérêt d'englober des expositions professionnelles ou environnementales aux RF autres que celles liées à la téléphonie mobile.

L'auteur appartient à un centre universitaire de recherche sur le cancer en Nouvelle Zélande, et a effectué cette revue de la littérature à la demande de Telecom New Zealand. Le journal EHP est l'un

des plus prestigieux dans le domaine des sciences de l'environnement et de la santé ; publication du National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), il rapporte des travaux scientifiques expérimentaux ou épidémiologiques.

L'auteur regroupe les travaux analysés en quatre catégories : les investigations de 'clusters' (cas agrégés) – 4 publications originales -; les études au sein de la population générale exposée aux émissions radio, télé et autres champs semblables (5); les études de cohorte concernant des expositions professionnelles (5) ; les études cas-témoins, au nombre de 6. Les articles considérés ont été identifiés par une recherche sur la base de données Medline ou dans des revues antérieures. Après une description de chaque étude, et notamment des conditions d'estimation des expositions des personnes ou des populations, les principaux résultats sont présentés de manière tabulée par catégorie de travaux, ce qui en permet une comparaison. Enfin, Elwood reprend l'ensemble de ces informations en les soumettant à une grille d'interprétation inspirée des critères de causalité de B Hill.

#### 1- *Investigations de clusters.*

De temps à autre, des cas de maladies rares se présentent de manière groupée dans le temps et/ou l'espace. Ces phénomènes, souvent dus au hasard, doivent être explorés attentivement pour tenter d'identifier des caractères communs aux cas ; il est admis aujourd'hui que ces agrégats permettent de soulever des hypothèses sur des facteurs de risque, mais n'autorisent pas à conclure sans que soient mises en œuvre des études spécifiques à visée explicative. Trois 'clusters' de cancers au voisinage de sources de RF ont été publiés.

Au voisinage d'un émetteur radio à Hawaï, 12 enfants ont présenté une leucémie aiguë, initiant une étude cas-témoins ; parmi les enfants résidant à moins de 4,2 km, un excès (non significatif) de cancers a été suggéré, mais le faible nombre de cas a conduit les auteurs à conclure que l'agrégat avait sans doute été le fruit du hasard. Une situation similaire a été explorée parmi 340 policiers américains équipés de revolvers radar ; les 6 cas de cancers des testicules n'ont pu être reliés à l'exposition. Un autre agrégat a été exploré au voisinage d'un émetteur radio-télé près de Birmingham, en Grande Bretagne, en considérant l'ensemble des cas de cancer survenus pendant 12 ans dans un cercle de 10 km autour de la source suspectée. Un excès de leucémies de l'adulte – mais pas de l'enfant - était suggéré dans un premier rayon de 2 km, par rapport au deuxième cercle, mais cette apparente tendance était due au nombre de cas plus faible qu'attendu dans ce second disque, par rapport à la population générale. Les auteurs ont conclu qu'il n'était pas possible d'imputer les cancers à l'émetteur, mais ont entrepris une étude plus large sur 21 émetteurs RF du pays.

#### 2- *Résidence au voisinage d'émetteurs de radio-télévision*

Cinq études ont été publiées sur l'incidence de cancers au sein de la population résidant à proximité d'émetteurs radio ou de télévision. Le cluster de Birmingham a conduit à réaliser, 'à froid' une étude comparative d'incidence de cancers, pendant 12 ans, dans un rayon de 10 km autour de 21 émetteurs britanniques (dans les gammes 430-890 MHz), dont celui ayant déclenché le travail ; cela concernait 3,39 millions d'habitants. L'observation princeps d'excès de leucémies de l'adulte n'a pas été confirmée : le nombre de cas dans le premier rayon de 2 km autour des 20 sites hormis Birmingham était, en moyenne, plus faible qu'attendu, tandis que le risque dans l'ensemble des 10 km était légèrement plus élevé (+3%) qu'attendu. Les résultats variaient cependant selon le type de cancer et d'un site à l'autre, un gros émetteur proche de Londres, exclusivement télévision, montrant quant à lui une tendance décroissante des leucémies de l'adulte avec la distance. Au total, les auteurs considèrent que leurs résultats ne donnent 'au mieux, une très faible indication à l'appui du cluster initial'.

Une autre étude d'incidence a été conduite au voisinage de trois émetteurs de télévision (60 à 500 MHz) au nord de Sydney, Australie. La densité de puissance maximum estimée à 1 km était de 80 mW/m<sup>2</sup>, et 2 mW/m<sup>2</sup> à 4 km. La comparaison a porté sur les cas de cancer de l'enfant ou de l'adulte au cours de la période 1972-1990, selon la distance aux émetteurs (moins de 4 km et de 4 jusqu'à 15 km). Un excès de risque de leucémies a été observé chez l'adulte (RR = 1,18 [0,98-1,42]) et chez l'enfant (RR = 1,58 [1,1-2,3]), mais pas de cancers du cerveau. Ces résultats contrastent donc avec les observations britanniques, malgré des puissances de champs nettement

moindres. Ils ne montrent pas de gradient d'effet, et des différences liées aux structures socio-démographiques des populations ne peuvent être exclues. Ce travail a été repris par un autre auteur, qui a étendu l'aire d'étude à d'autres unités territoriales proches ; des mesures de champ ont été faites, montrant des densités de puissance qui variaient de moins de  $2,5 \text{ W/m}^2$  à  $1000 \text{ W/m}^2$  au pied d'un émetteur. Si l'une des trois zones les plus exposées montrait, comme dans l'étude initiale, un excès de leucémies de l'enfant, par rapport aux secteurs plus éloignés, deux autres ne le montraient pas, évoquant le rôle possible de facteurs autres que les champs EM.

Dans la région de San Francisco, l'incidence des leucémies, de cancers lymphatiques ou du cerveau parmi les sujets de moins de 21 ans, entre 1973 et 1988, a été analysée, selon la distance à une tour émettrice de télévision, sans montrer d'excès de risque dans un premier cercle de 3,5 km (RR = 0,73). Une autre étude, signalée par l'auteur, est rapportée dans une revue des travaux conduits sur le sujet, mais n'a pas fait l'objet de publication référencée.

### 3- *Etudes de cohortes rétrospectives professionnelles*

Du personnel militaire polonais a été suivi de 1971 à 1985, au moyen de registres indiquant une possible exposition aux RF (principalement des émissions pulsées de 150 à 3 500 MHz, à densité de puissance inférieure à  $20 \text{ W/m}^2$ ). Pour l'ensemble des cancers, un excès de risque est calculé chez les militaires ayant encouru une exposition par rapport aux autres (RR = 2,1 [1,1-3,6]) ; il est le plus élevé pour les leucémies et lymphomes (RR = 6,3), mais aussi pour certains cancers digestifs (œsophage, estomac, colon et rectum), observation qui n'a jamais été rapportée par ailleurs. Aucun excès n'est montré pour le cancer des bronches. L'information relative aux expositions pourrait avoir été biaisée, selon Elwood, au moment de l'exploration plus attentive des facteurs de risque de cancer dans les hôpitaux militaires ayant pris en charge les malades.

Plus tôt, une étude avait été conduite parmi 20 000 personnels de transmissions radar de la marine américaine, et comparés à 20 000 autres marins ayant eu une moindre exposition, entre 1950 et 1954 ; plusieurs classes d'exposition ont été définies selon les définitions des postes de travail. La mortalité pour cancer a été appréciée en 1974. Elle ne différait pas entre les groupes, pas plus que pour les catégories particulières de cancers digestifs, de leucémies ou de lymphomes. En revanche, la mortalité était plus forte pour les cancers du poumon, avec un gradient selon l'importance de l'exposition.

Une cohorte de radio amateurs hommes des Etats de Californie et de Washington a été étudiée, pour diverses localisations de cancers survenus entre 1979 et 1984. Pour l'ensemble des cancers, la mortalité était plus faible qu'attendu, mais elle était plus forte pour l'une des 9 formes de leucémie considérées : la leucémie myéloïde aiguë, ainsi que pour la catégorie 'autres cancers lymphatiques'. Malheureusement, trop peu d'informations sont disponibles sur les expositions des sujets qui, dans leur activité ou lors professions (souvent des métiers en lien avec l'électronique), pouvaient encourir des expositions chimiques ou physiques autres. Cela ne permet pas une interprétation valide de ce travail.

Une cohorte de 2600 opératrices radio et télégraphe de la marine marchande norvégienne, actives entre 1920 et 1980, a fait l'objet d'une étude d'incidence des cancers. Un léger excès de risque a été observé pour l'ensemble des cancers (RR = 1,2 [1,0-1,4]), ainsi que pour les tumeurs malignes du sein (1,5 [1,1-2,0]) et de l'utérus (1,9 [1,0-3,2]). Les leucémies, lymphomes et cancers du cerveau n'avaient pas une incidence plus élevée que dans la population de référence (non spécifiée dans la revue de Elwood). Une étude cas-témoins a été nichée dans cette cohorte. La concordance de l'excès de cancers du sein et de l'utérus, en l'absence d'excès pour d'autres formes de cancer dont le lien avec les RF a été parfois montrée, est suggestive d'un rôle de facteurs reproductifs, mais cet excès demeure après prise en compte de l'âge au premier enfant des femmes. Quelques mesures des champs EM effectuées sur des vaisseaux encore équipés de vieux appareils radio a montré des valeurs de champ magnétique (>8MHz) excédant les limites d'exposition professionnelles.

La dernière cohorte étudiée, considérée par l'auteur comme la plus valide sur le plan méthodologique, est constituée d'agents de compagnies d'électricité canadiens et français. Un ensemble de 2679 cas incidents de cancers de tous types a été recensé, ce qui a permis une analyse de type cas-témoins nichée dans la cohorte. L'exposition a été caractérisée par des matrices emploi-exposition, et par des mesures de champs électrique au poste de travail de 1300

travailleurs, pendant 1 semaine, en 1991 et 1992. Les classes d'exposition élevées correspondaient à des champs électriques supérieurs à 200 V/m dans la bande 5-20 MHz, mais pouvait aussi comprendre des champs de 150-300 MHz et des RF (transmissions radio). Un excès de risque 'tous cancers' a été observé (RR = 1,39 [1,05-1,85]), ainsi que pour le cancer bronchique (après ajustement sur le tabagisme et une vaste gamme d'autres facteurs de risque). En revanche, aucune association n'a été montrée avec les cancers rapportés ailleurs avec les CEM (leucémies, lymphomes, cancers du cerveau et mélanomes). Elwood note que les champs EM considérés dans cette cohorte sont, pour l'essentiel, éloignés des gammes de RF.

#### 4- *Etudes cas-témoins*

La mention spécifique de RF a été retrouvée dans 6 études cas-témoins. Des personnels de la US-Air Force employés de 1970 à 1989 et qui ont développé un cancer du cerveau ont été comparés à 4 témoins (même arme, âge et catégorie ethnique). L'exposition professionnelle a été caractérisée au moyen de matrices emploi-exposition définies par un groupe. En plus d'une association très forte, et inexpliquée avec le rang hiérarchique, une discrète relation a été observée avec l'exposition aux RF (RR = 1,39 [1,01-1,90]). Une limite de cette étude est le fait que n'ont pas été inclus des agents ayant quitté l'armée, ce qui peut introduire un biais de sélection.

Dans trois régions des Etats Unis, des cas de cancer du cerveau mortels (hommes blancs de plus de 30 ans) ont été comparés avec des témoins (même âge et zone de résidence) décédés d'affections autres que ce cancer, épilepsie, accident vasculaire cérébral, mort violente. Un proche a été interrogé sur les expositions professionnelles (taux de réponse inégal selon les cas et témoins : 74% et 63%). Les emplois ont été classés selon l'exposition potentielle aux RF. Le risque de cancer était lié aux emplois 'exposés' (RR=1,6) parmi les seuls agents d'industries électriques et électroniques, mais pas parmi ceux actifs dans d'autres branches professionnelles (RR=1,0). Cela suggère que le facteur de risque serait plus dû à d'autres caractères des emplois que les RF (solvants, vapeurs...).

Les facteurs de risque du cancer du testicule ont été explorés chez 271 cas de 18 à 42 ans et 259 témoins, dans 3 hôpitaux (dont deux militaires). La catégorie d'emploi et la déclaration des sujets ont servi à classer l'exposition aux micro-ondes et autres ondes radio. Les résultats sont incohérents, avec des excès de risque lorsque l'exposition est fondée sur les déclarations, mais pas selon l'intitulé d'emploi ; les emplois considérés comme les plus exposés aux RF étaient associés à un risque faible (RR = 0,8).

Des facteurs de risque de l'incidence du cancer du sein de l'homme, affection très rare, ont été étudiés chez 227 cas et 300 témoins dans 10 régions des Etats-Unis. Avoir travaillé dans un emploi impliquant des RF définissait l'exposition. Si les risques observés étaient plus élevés parmi les électriciens, poseurs de lignes téléphones et agents d'installations de production d'électricité, il n'était pas significativement accru parmi les travailleurs des secteurs radio et télécommunications (OR = 2,9 [0,8-10,0] ; pour 7 cas). Les taux de participation à l'étude sont décrits comme faibles par Elwood, qui considère ce travail comme préliminaire.

Les facteurs de risque de la mortalité féminine pour cancer du sein, entre 1984 et 1989 dans 24 Etats des Etats-Unis, ont fait l'objet d'une étude cas-témoins, sur un total de 33 000 cas et 117 000 témoins. Les seules données disponibles sur l'exposition étaient dérivées des certificats de décès, qui ont permis de classer les femmes selon des matrices emploi-exposition. A côté de diverses expositions potentielles à des substances chimiques (styrène, solvants chlorés...), la probabilité d'exposition aux RF a été estimée, et catégorisée en 4 groupes, selon un gradient. Si, par rapport au groupe non exposé, les classes 1 et 3 d'exposition sont suggestives d'un effet ( OR moyen = 1,14 et 1,15 respectivement), la classe intermédiaire ne montre pas d'excès de risque (OR = 0,95). Les auteurs concluent que 'les investigations ne montrent pas d'association avec des rayonnements ionisants ou non ionisants'.

L'effet des RF sur le risque de mélanome intra-oculaire a été étudié à partir de 221 hommes blancs d'un hôpital de San Francisco, et 447 témoins de la même aire géographique. De nombreux facteurs d'exposition professionnelle ont été explorés, par catégorie de métier ; seuls ceux s'étant avérés associés au cancer ont été rapportés, ce qui ne permet pas d'apprécier la possibilité d'associations fortuites. Une association a été mise en évidence avec une exposition aux micro-ondes et aux ondes radar (OR = 2,1 [1,1-4,0] sur 21 cas exposés). Ce résultat ne figure pas dans le

résumé écrit par les auteurs qui signalent, par ailleurs, la possibilité de biais de mémoire dans ce type d'enquête.

Elwood rapporte d'autres études pouvant présenter un intérêt pour le sujet. L'une concerne la comparaison du taux de dommages des chromosomes parmi 38 employés de Telecom Australia, technicien lignards ayant une exposition voisine de ou inférieure aux valeurs limites professionnelles, pour des fréquences de 400 à 20 000 MHz, et 38 agents de bureau non exposés. Pratiqués en aveugle, les examens biologiques ne montrent aucune anomalie de la division cellulaire parmi 200 métaphases pour chaque sujet examiné (OR de cellules montrant une aberration = 1,0 [0,8-1,3]). Deux autres données sont évoqués, mais si évasivement qu'il n'est pas possible de les interpréter.

Au terme de sa revue, l'auteur récapitule les observations et les soumet au crible des critères de causalité de Hill. Cela le conduit à conclure que les études individuelles sont faibles sur le plan méthodologique, tout particulièrement pour ce qui est de la caractérisation des expositions, ce qui ne permet pas de les interpréter clairement en terme de relations cause-effet. « L'impression majeure est que ces études sont incohérentes. Aucun type de cancer n'est relié de manière cohérente avec l'exposition aux RF ».

*L'avis du groupe d'experts sur l'article : Les travaux considérés dans cette revue ne concernent pas directement l'exposition aux RF liée aux téléphones mobiles et à leurs stations de base. Les gammes de fréquence ainsi que les conditions d'exposition sont sensiblement différentes. Cependant, ces études sont a priori pertinentes, en ce qu'elles pourraient permettre de mettre en lumière des catégories de cancers auxquelles il faudrait particulièrement porter attention dans des études épidémiologiques spécifiques sur la téléphonie mobile.*

*Les renseignements apportés par Elwood pour apprécier la qualité des études originelles sont très variables quant à leur précision. Il y a parfois une certaine confusion entre la présentation des études et leur critique, ce qui n'en facilite pas la lecture 'objective'. Malgré cela, on doit convenir avec lui que le message véhiculé par cette série de travaux est loin d'être convaincant.*

## **B- Les articles scientifiques récents**

Cette section présente, de manière synthétique, les résultats des travaux publiés après l'achèvement des rapports de synthèse discutés plus haut. Ces derniers n'ont donc pas pu les prendre en considération. Les travaux sont regroupés en deux parties : a- les articles à caractère général ainsi que les travaux expérimentaux ; b- les travaux de type épidémiologique, relativement nombreux au cours de la période récente. Chaque paragraphe expose un article de manière critique. Au terme de cette revue, le groupe d'experts exprimera son jugement d'ensemble sur ces articles récents, en les mettant en perspective par rapport au corps de connaissances déjà rassemblé dans les synthèses exposées plus haut.

### **1- Articles généraux et travaux expérimentaux**

#### **Non-thermal heat-shock response to microwaves**

David de Pomerai, Clare Daniells, Helen David, Joanna Allan, Ian Duce, Mohammed Mutwakil, David Thomas, Phillip Sewell, John Tattersall, Don Jones, Peter Candido. Nature, 25 May 2000.

Un court article vient d'être publié dans la prestigieuse revue Nature<sup>24</sup>, décrivant les résultats obtenus par des équipes anglaises et canadiennes sur des petits vers de terre appelés nématodes, de l'espèce *Caenorhabditis elegans*. Ces animaux ont été exposés à des micro-ondes à bas niveau. L'objectif de l'étude était de détecter indirectement l'expression de protéines de choc thermique (HSP<sup>25</sup>) causée par l'exposition. Ces protéines sont fabriquées quand l'organisme est soumis à des agressions telles que la chaleur ou un produit toxique. Les protéines peuvent être endommagées dans les cellules et les HSP sont là pour servir de chaperon aux protéines pour maintenir ou rétablir leur structure tridimensionnelle.

Les auteurs ont construit des nématodes transgéniques afin de pouvoir suivre expérimentalement la production des HSP. Ils ont donc préparé deux souches qui portent des gènes "reporter" (qui expriment des gènes facilement détectables : ceux de l'enzyme  $\beta$ -galactosidase et d'une protéine fluorescent dans le vert). Ces gènes reporters sont régulés (exprimés à la suite de l'expression des gènes promoteurs hsp).

Les vers ont été exposés pendant une nuit à des micro-ondes CW à 750 MHz dans une cellule TEM<sup>26</sup> qui est l'un des systèmes d'exposition les plus usités pour les cellules en culture. Au cours de plusieurs expériences faites à des températures croissantes dans un incubateur standard, il a été constaté que les vers exposés réagissaient très différemment des vers contrôles : l'activité de l'enzyme  $\beta$ -galactosidase augmentait rapidement avec la température de l'incubateur, comme s'ils étaient chauffés par les micro-ondes. Il y avait une différence de 3°C entre les deux lots (cf. annexe 3). Or, le DAS était estimé à 1 mW/kg ce qui correspond à un échauffement infime.

Afin d'expliquer leurs observations, les auteurs ont proposé trois hypothèses : 1) une action des micro-ondes sur les liaisons qui maintiennent les protéines dans leur structure de repliement, 2) une production d'espèces réactives de l'oxygène, et 3) une action sur les processus de transduction du signal<sup>27</sup>.

**En fait, aucune des ces "explications" n'a de fondement expérimental (ni même théorique) à l'heure actuelle. Néanmoins les auteurs vont les tester à l'aide de ce modèle simple et rapide. Aujourd'hui, ces résultats, qui sont intéressants et doivent être reproduits, ne peuvent être extrapolés en termes de santé publique. Pourtant, les auteurs suggèrent sans ambages que les limites d'exposition devraient être revues si de tels effets biologiques non-thermiques existent ; audacieux raccourci du vers de terre à l'homme...**

*Mobile-phone type electromagnetic fields do not influence genetic stability in yeast.*

Gos P., Heyer W.D., Kohli J., and Eicher B. (1999). In: *Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed.

A la suite des travaux du groupe de Grundler et Kielman sur les effets d'ondes millimétriques sur des levures<sup>28</sup>, le groupe de Gos à Berne a tenté sans succès de répliquer ces expériences<sup>29</sup>. Plus récemment, une étude financée par le FGF et Swiscom été réalisé par ce même groupe. Il s'agissait de déterminer les effets éventuels sur le même modèle de micro-ondes de type GSM 900. Des cultures de *Saccharomyces cerevisiae* ont donc été exposées en champ lointain à 900 MHz (23°C, DAS de 0,13 et

<sup>24</sup> "Non-thermal heat-shock response to microwaves". 25 May 2000. David de Pomerai, Clare Daniells, Helen David, Joanna Allan, Ian Duce, Mohammed Mutwakil, David Thomas, Phillip Sewell, John Tattersall, Don Jones, Peter Candido

<sup>25</sup> heat-shock proteins

<sup>26</sup> transverse électromagnétique

<sup>27</sup> propagation de messages extérieurs à la cellule vers le cytoplasme et le noyau

<sup>28</sup> Grundler W, Keilman F, Putterlik V, Strube D (1982): Resonant-like dependence of yeast growth rate on microwave frequencies. *Br J Cancer* 45:206-208.

<sup>29</sup> Gos P, Eicher B, Kohli J, Heyer W-D (1997): Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Bioelectromagnetics* 18:142-155

13 W/kg). Les tests pratiqués étaient ceux de mutation inverse et directe en réponse à la canavanine. Aucun effet n'a été décelé.

*Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats.*

Bornhausen M., Sheingraber H. *Bioelectromagnetics*, 2000, 21, 1-9.

Cet article concerne les possibles effets des champs électromagnétiques radio-fréquence utilisées dans la technologie de la téléphonie mobile sur le développement cérébral. Pour ce faire, des femelles gravides de rats Wistar ont continuellement été exposées au cours de la gestation. Cette exposition a été effectuée avec des radiations de 900 MHz, modulées à 217 Hz, ce qui représente l'exposition de la population la plus fréquemment observée en termes d'exposition aux radiofréquences utilisées en téléphonie mobile Les DAS totaux (corps entier) correspondant à cette exposition étaient compris entre 17,5 et 75 mW/Kg. Les embryons ayant subi ces conditions d'exposition ont ensuite été soumis à des tests destinés à évaluer les facultés cognitives au niveau des facultés d'apprentissage (obtention de nourriture). Ces tests sont décrits comme particulièrement discriminants à partir des deux paramètres que sont la fréquence d'activation du levier et la durée des intervalles inter-réponses. Les résultats obtenus au cours de ces différents tests en étudiant plus particulièrement ces deux paramètres ont montré que l'exposition in-utero n'avait induit aucun effet mesurable sur la cognition des animaux soumis aux radiations par rapport aux performances des animaux témoins.

***Biological effects of electromagnetic fields- Mechanisms for the effects of pulsed microwave radiation on protein conformation***

Laurence JA, French PW, Lindner RA, and McKenzie DR *Journal of Theoretical Biology*, 206: 291-298 (2000).

En Australie, Laurence et coll. ont étudié les effets de micro-ondes pulsées sur l'induction de protéines de choc thermique. L'induction de HSP-70 était observée dans des cellules de souris à la suite de l'exposition à des "bouffées" de micro-ondes à 2450 GHz durant chacune 6 minutes. L'amplitude de l'effet augmentait avec la dose (DAS de 12 à 58 W/kg). Les auteurs disent avoir montré par là que la durée de moyennage de 6 minutes, préconisée par l'ICNIRP, est inadéquate. Ils ont également effectué des simulations du mécanisme à la base de cet effet. L'hypothèse principale est que la synthèse des protéines de choc thermique est déclenchée par l'échauffement transitoire de protéines, sans que la température macroscopique ne s'élève. Ils estiment que le temps de mise en équilibre thermique d'une protéine de 10 nm de diamètre avec son environnement est de 1 nanoseconde après son absorption des micro-ondes, tandis que le temps nécessaire au dépliement de la protéine est de 50 nanosecondes.

Commentaires du groupe d'experts : Plusieurs hypothèses proposées dans cet article sont peu raisonnables, et notamment que la température de l'eau liée aux protéines soit élevée après absorption des micro-ondes sans que la température du bain soit modifiée. En effet, l'équilibre entre les deux formes d'eau (libre et liée) est établi quasi instantanément. De même, l'explication de l'existence de « fenêtres » de puissance n'est pas étayée par les observations expérimentales ni par des considérations théoriques (déclenchement incomplet de la réponse au choc thermique). Il est probable qu'une dosimétrie défectueuse est à la base des observations faites dans cet article, les effets étant vraisemblablement de nature thermique.

*Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG*

*R Huber, T Graft, KA Cote et al (NeuroReport, 2000, 11, 3321-3325)*

Des volontaires ont été soumis au champ de téléphones mobiles émis par une antenne planaire d'un côté ou de l'autre de la tête. Après une nuit écourtée, limitée à 4 heures de sommeil, les volontaires ont été exposés pendant une demi-heure en position assise en début de matinée avant de s'endormir à nouveau. Un signal GSM a été émis avec une modulation aux différentes fréquences rencontrées dans les téléphones réels : 2, 8, 217 et 1736 Hz, avec un taux de remplissage de 87,5%. Le DAS local maximum sur 10 g a été calculé à 1 W/kg, correspondant à un DAS moyen sur l'hémisphère du côté exposé de 0,28 W/kg. Les paramètres du sommeil (latences, durées, efficacité, ...) n'ont pas présenté de différences significatives. Une différence de 10 à 12% dans la densité de puissance spectrale était significative dans les bandes de fréquence 9,75-11,25 Hz et 12,25-13,25 Hz pendant les 30 premières minutes de sommeil non paradoxal. Cet effet ne prédominait pas du côté exposé.

Commentaires du groupe d'experts : *les conditions d'exposition ne sont absolument pas physiologiques. Un effet dans de telles conditions n'a aucune signification qui puisse être rapportée à une situation réelle. Les auteurs justifient ce protocole entre autres sur l'argument que le sommeil de jour était favorisé par la privation nocturne immédiatement antérieure. Quelques nuits d'habituation permettent en général aux volontaires un sommeil correct malgré l'environnement inhabituel. Le principal intérêt de cette étude est de montrer un effet différé par rapport à l'exposition qui laisse envisager un possible effet cumulatif. Cette hypothèse reste à démontrer dans des conditions d'exposition plus physiologiques qui pourraient être une exposition le soir avant de s'endormir.*

*Exposure to electromagnetic fields by using cellular telephones and its influence on the brain.*  
M. Petrides, Neuroreport, 11 (15), F15, 20 octobre 2000

Cet éditorial de la revue Neuroreport est initié par l'article de Huber et al, publié dans le même numéro (cf la critique de cet article présentée ci-dessus) ; il met ce travail en perspective en rappelant 6 autres articles publiés depuis 1998 sur les effets d'une exposition brève aux RF sur la physiologie du cerveau et certaines fonctions cognitives.

Les mécanismes de ces effets sont encore incertains, mais il a été proposé qu'un effet microthermique au niveau des transmissions synaptiques pourrait jouer un rôle facilitateur des fonctions cognitives. L'éditorial souligne que les effets mis en évidence par Huber et al ne sont plus visibles après une période de sommeil de 3 heures, dont il tire la conclusion qu'en l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible que ces manifestations à court terme soient prédictives de conséquences à long terme, à la suite d'exposition répétées. Des travaux nouveaux sont nécessaires pour trancher cette question.

*Radio-fréquences et génotoxicité.*

**Un appel d'offre conjoint de la Food and Drug Administration et de l'industrie américaine des téléphones (CTIA) vient d'être lancé pour la réplique et l'extension de deux travaux récents (soumis pour publication) montrant une induction de micronoyaux (test de génotoxicité) après exposition de cellules mammifères à des signaux radiofréquences utilisés en téléphonie mobile.**

**Les conditions dans lesquelles un tel effet est démontré sont néanmoins particulières et appellent à la prudence quant à l'interprétation de ces données.**

*1- Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells*

Hook G.J., Donner M., McRee D.I., Guy A.W., Tice R.R (article accepté dans Bioelectromagnetics )

Les différents signaux de téléphonie mobile étudiés ont une fréquence porteuse d'environ 837 MHz (Analogue, CDMA et TDMA) ou de 1900 MHz (PCS) et sont modulés ou non par la voix.

Les cultures de lymphocytes humains circulants (2 donneurs) sont exposés à des DASs de 1 ; 2,5 ; 5 et 10 W/kg pendant 3 et 24 heures.

Les deux paramètres étudiés sont (i) l'induction de dommage de l'ADN (cassures simple brin de l'ADN, sites sensibles aux alcalis) évalué par le test des comètes : ce test permet la visualisation des dommages sur cellules individuelles après électrophorèse. Une cellule altérée présente la forme d'une « comète » avec l'ADN intact formant la tête, tandis que l'ADN fragmenté ayant migré forme la queue. (ii) l'induction de micronoyaux (MN, fragments chromosomiques ou chromosomes entiers ne migrant pas correctement lors de la division cellulaire) évaluée par le test des micronoyaux après blocage de la cytocynèse (cytokinesis-blocked micronucleus assay). Seules les cellules ayant subi une division cellulaire post-traitement (cellules binucléées) sont considérées, ce qui augmente la sensibilité de ce test (M. Fenech, The *in vitro* micronucleus test, Mutation Research, 2000).

Dans cette étude, le test des comètes ne révèle aucune induction de dommages de l'ADN quelles que soient les conditions d'exposition. Le test des MN est négatif pour tous les signaux après 3 heures d'exposition. On peut noter que 2 expérimentations seulement ont été réalisées dans la plupart des cas. Les signaux testés à 5 W/kg et 24 heures (TDMA et analogue) induisent des MN dans les lymphocytes ( $p < 0,001$ , *une seule expérimentation*). Enfin, tous les signaux (modulés ou non) montrent une capacité à induire des MN après 24 heures d'exposition ( $p < 0,001$ , *deux expérimentations par condition*).

D'après les auteurs, cet effet pourrait être dû à un échauffement des cellules, la fourchette de DAS au niveau des échantillons étant très large (7 à 31 W/kg - Guy *et al.*, 1999, Bioelectromagnetics, 20, 21-39). En revanche, aucune hypothèse n'est formulée par les auteurs pour expliquer la négativité du test des comètes dans des conditions pour lesquelles une augmentation significative des MN est détectée.

*2- The effect of radiofrequency radiation with modulation relevant to cellular phone communication (835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA) on the induction of micronuclei in C3H 10T1/2 cells*

Bisht K., Moros E.G., Straube W.L., Roti-Roti J.L (résultats présentés à l'Annual BEMS meeting (Munich, juin 2000) et soumis à Radiation Research)

L'étude porte sur la recherche de l'induction de micronoyaux (MN) dans des cellules C3H 10T1/2 (lignées de fibroblastes de souris) exposées à des signaux radiofréquences utilisés en téléphonie mobile aux USA. Des cellules ont été exposées au signal FDMA (fréquence

porteuse : 835,62 MHz) à des DASs de 3,2 et 5,1 W/kg ou au signal CDMA (fréquence porteuse : 847,74 MHz) à des DASs de 3,2 et 4,8 W/kg. L'exposition est isothermique ( $37 \pm 0,3^\circ\text{C}$ ) et les temps d'exposition sont de 3, 8, 16 et 24 heures pour les cellules en phase exponentielle de croissance ou en phase plateau (phase G0 du cycle cellulaire). Des radiations ionisantes gamma ( $^{137}\text{Cs}$ ) ont été utilisées comme contrôles positifs. Le test utilisé est le test dit « cytokinesis-blocked micronucleus test » dans lequel seules les cellules binucléées, dont la division est bloquée chimiquement, sont considérées.

Dans les conditions expérimentales de cette étude, ce test se révèle capable de détecter les MN induits dès 0.6 Gy de photons gamma.

Les résultats montrent l'absence de toute augmentation de micronoyaux lorsque les cellules sont exposées au signal FDMA, quelles que soient les conditions de l'exposition. Une exposition inférieure à 24 heures au signal CDMA est également sans effet quels que soient le niveau d'exposition et la phase de croissance cellulaire.

En revanche, on note une augmentation du nombre des MN (cellules binucléées avec micronoyaux et nombre de MN pour 100 cellules binucléées) dans les cellules C3H exposées en phase plateau et pendant 24 heures au niveau le plus élevé (5,1 W/kg). L'augmentation est de l'ordre de 20% et significative ( $p < 0,05$ , t de Student avec  $n=6$ ). On peut noter que dans les cellules en phase plateau, l'augmentation de MN de 50% observée après une dose de 0,3 Gy de  $^{137}\text{Cs}$  n'est pas trouvée significative ( $n=3$ ).

### ***Physics and biology of mobile telephony***

G.J. Hyland, *The Lancet*, 2000, 356:1833-1836.

Le professeur Hyland de l'Université de Warwick propose dans cet article une théorie concernant les effets de nature non thermiques des ondes des téléphones mobiles. Il rappelle brièvement les données de base sur la téléphonie mobile et sur les effets thermiques. Il aborde ensuite les effets non-thermiques en exposant son hypothèse de base qui est que l'organisme réagit aux ondes modulées car celles-ci peuvent interférer avec les oscillations de certains processus biologiques. La comparaison est faite avec les phénomènes d'interférence rencontrés en compatibilité électromagnétique. Suit une liste d'exemples d'effets observés, tels que :

- L'activité épileptique dans des tranches de cerveau de rat, observée par Tattersall (or l'effet est observé aussi bien à 700 MHz GSM que non-modulé...);
- Les effets d'ondes millimétriques sur la croissance de *Saccharomyces cerevisiae*, observés par Grundler en 1992, mais que l'équipe de Gos n'a pas pu répliquer (2000),

**Dans tous les résultats choisis, sauf ceux de Repacholi, l'amplitude des effets biologiques est faible et ne correspond pas à des effets sanitaires prévisibles.**

Commentaire du groupe d'experts : *La démonstration est affaiblie par le choix sélectif des articles de la littérature, puisque les expériences négatives, en particulier de réplification, ne sont pas citées et que les exemples sont pris aussi bien dans les gammes ELF que RF et millimétrique sans que ce soit explicite. Par ailleurs, certaines références citées sont relatives à des travaux non publiés. Ainsi, dans la seconde table, les travaux du groupe de M. Bastide sont cités alors qu'ils ne sont pas publiés et qu'ils concernent les très basses fréquences (ELF).*

**Devant l'impossibilité de reproduction de certains résultats, l'auteur invoque le caractère « non-linéaire » des phénomènes (chaos, effet « papillon »), pour expliquer que les résultats dépendent tellement des conditions initiales que leur reproduction n'est pas possible ! Il s'agit là d'un argument irrecevable sur le plan scientifique. Les citations de données de type épidémiologique sont également biaisées et la conclusion sur l'épisode fameux de l'irradiation de**

## **l'ambassade américaine à Moscou est hors de propos, du point de vue des RF de la téléphonie mobile.**

En conclusion, il est très étonnant qu'un journal scientifique tel que The Lancet ait publié cet article qui ne respecte pas dans son contenu ni dans sa forme les règles élémentaires de la communication scientifique.

### **Criticism of the health assessment in the ICNIRP guidelines for radiofrequency and microwave radiation (100 kHz–300 GHz)**

Cherry N, 2000. <http://www.emfguru.com/CellPhone/cherry2/ICNIRP-2.htm>

Neil Cherry est un professeur de climatologie en Nouvelle- Zélande. Depuis plusieurs années, il milite pour que des limites d'exposition basses aux RF soient appliquées. N. Cherry vient de publier sur Internet une critique sévère des recommandations de l'ICNIRP<sup>30</sup>. L'argument principal de l'auteur est que l'ICNIRP maintient, contre toute évidence, que les seuls effets biologiques établis et concevables sont de nature thermique, alors que les effets non thermiques devraient être pris en compte dans l'évaluation des risques sanitaires.

Malgré la longueur impressionnante de cette contribution (143 pages), qui se veut couvrir l'ensemble des aspects biologiques et sanitaires du spectre électromagnétique non ionisant, la présentation qui suit est courte, comme pour les autres travaux récents commentés par le groupe d'experts. Quelques exemples tirés du rapport de N. Cherry montrent les faiblesses méthodologiques et théoriques de son argumentation :

- N. Cherry explique qu'il existe une augmentation de l'amplitude des effets biologiques avec la fréquence sur toute l'étendue du spectre électromagnétique ('EMR Spectrum Principle'). Il s'agit là d'une hypothèse qui n'est étayée ni par la connaissance des mécanismes, qui dépendent de la fréquence, ni par les résultats biologiques obtenus dans les diverses gammes de fréquences.
- Des études de natures différentes sont rassemblées par l'auteur sans discernement (ainsi, sont considérées globalement les champs ELF et le RF),
- Le résultat de l'expérimentation n'est pas toujours pris en compte (négatif ou positif).
- Apparaissent souvent dans le rapport des résultats mal résumés ou sur-interprétés.
- En épidémiologie, il existe une réelle difficulté à estimer l'exposition aux champs des sujets, spécialement lors d'études rétrospectives, comme cela est le cas pour les études cas-témoins, ou lors d'études de type 'écologique', abondamment commentées par l'auteur. Ceci peut induire une sous-estimation du risque. N. Cherry en conclue que toute indication d'un excès de risque, même non significatif, implique une relation causale. Il fait ainsi une lecture très particulière des critères de causalité proposés par B. Hill, par ailleurs longuement appelé à l'appui de sa thèse. De nombreux travaux analysés par des collègues de spécialistes comme 'non suggestifs' d'une association, ou suggérant une relation dont la causalité est sujette à caution, sont présentés par N. Cherry comme démonstratifs<sup>31</sup>.

---

<sup>30</sup> International Commission on Non Ionizing Radiation Protection

<sup>31</sup> "The studies cited by ICNIRP contain sufficient evidence to conclude cause and effect between RF/MW and cancer across many body organs, especially leukaemia and brain tumour, and at chronic lifetime exposures showing dose-response relationships pointing to a Level of No Observed Adverse Effects threshold of about 20nW/cm<sup>2</sup>."

Cette thèse est une bonne illustration de la fragilité d'une approche critique isolée, dans un domaine scientifique caractérisé par une grande complexité. Le groupe d'experts a insisté, dès son rapport d'étape, sur la nécessité, dans un tel contexte, de mobiliser des compétences variées sur le plan disciplinaire, ainsi que des points de vue différents sur le sujet traité. Ce besoin de la critique scientifique contradictoire est ici clairement mis en lumière.

## 2- Travaux épidémiologiques

### *Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones*

**Rothman KJ. Lancet, 2000, 356 : 1837-1840**

Rédacteur en chef de la revue *Epidemiology* et célèbre épidémiologiste, K Rothman fait le point, pour le *Lancet*, de l'état des connaissances épidémiologiques sur les risques associés aux RF. Dans une courte introduction, il rappelle certains traits distinctifs de l'exposition aux RF, par rapport aux champs électromagnétiques de très basse fréquence (CEM TBF), domaine qui a fait l'objet de très nombreux travaux épidémiologiques : l'exposition est, tout au moins pour les usagers du téléphone, localisée et concerne des tissus bien identifiés, elle a crû considérablement sur la période récente, survient par courtes périodes (les appels), et peut faire l'objet de mesures indirectes (par les facturations) ou d'estimations directes (les DAS), toutes conditions qui devraient rendre le travail des épidémiologistes plus aisé que dans le cas des CEM TBF. Cependant, le recul est trop court pour donner des réponses définitives pour certains effets éventuellement différés, d'autant que les technologies ont évolué sur la période récente.

La revue traite en premier lieu du cancer. Les travaux relatifs aux RF liées aux antennes de radio ou de télévision, ou encore à certains environnements professionnels (radar, branche industrielle de l'électronique...) – 11 articles sont discutés - sont instructives mais de faible valeur pour la téléphonie mobile ; l'exposition au voisinage de stations de base pose, pour K Rothman, « de formidables problèmes » de méthode et il attend peu de résultats concluants de telles études, compte tenu de l'interférence de très nombreux facteurs. Trois études concernant les mobiles sont présentées – dont l'une de l'auteur de l'article – et sont considérées comme non conclusives (des doutes sont exprimés sur l'interprétation des résultats de l'étude de Hardell). Les résultats de 3 autres études sont attendus, dont deux à court terme (études cas témoins achevées) et la dernière dans plusieurs années (le projet Interphone du CIRC).

L'effet le plus manifestement établi par l'épidémiologie (3 articles présentés) est le risque d'accident lors de la conduite automobile, avec des excès de risque de plus de 100 %.

La conclusion de l'auteur est qu'il est trop tôt pour prononcer un verdict sur les risques associés aux téléphones mobiles, notamment sur le cancer. Mais K Rothman, se fondant sur les ordres de grandeur des risques envisagés (pour le cancer du cerveau) ou démontrés (pour les accidents), estime que même si la démonstration devait en être faite, le nombre de cas attendus serait en tout état de cause bien supérieur pour le risque accidentel.

### *Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems.*

Morgan RW, Kelsh MA, Zhao K, Exuzides KA, Heringer S, Negrete W. *Epidemiology*, 2000, 11 : 118-127

Une cohorte professionnelle a été suivie de 1976 à 1996, au sein de l'entreprise Motorola, où la probabilité d'encourir une exposition aux RF est plus forte que dans la population générale ; les RF en jeu sont relatives au procès de fabrication d'appareils de télécommunication, et ne sont pas propres à la téléphonie mobile. Cette cohorte totalise, avec 195 775 travailleurs et 2,7 millions de personnes-ans d'observation, la plus grande série disponible à ce jour pour l'étude des RF sur la mortalité. La variable sanitaire étudiée est la mortalité, selon la cause de décès, avec une attention particulière portée

au cancer du cerveau, aux lymphomes et leucémies, parmi 14 causes de décès par cancer. Une analyse détaillée de l'histoire professionnelle des agents, grâce aux registres de l'entreprise, a permis de les catégoriser selon le niveau de leur exposition (nulle -c'est à dire égale à la population générale-, faible, modérée et forte) et sa durée; une étude de validation de la matrice emploi-exposition construite pour l'étude a été réalisée, avec comparaison du classement ainsi opéré à des mesures sur site. Deux systèmes de comparaison de la mortalité ont été adoptés : externe, avec la population générale des 4 Etats américains où sont implantés la majorité des établissements de l'étude (calcul de SMR), et interne, la plus valide, par contraste des catégories d'exposition au sein-même de la cohorte. L'analyse statistique, très élaborée, a permis de prendre en compte différentes latences et l'ancienneté de la présence dans l'entreprise.

Au total, ni les comparaisons externes (un fort 'effet du travailleurs sain' est observé, avec un SMR 'tous décès' de 0,66 [IC95%=0,64-0,67]), ni les comparaisons internes (que ce soit selon le niveau, la durée, les modalités - valeur usuelle, maximum ou cumulée -, l'ancienneté, et la latence de l'exposition) ne suggèrent un rôle de l'exposition aux RF, notamment pour les 3 causes de décès qui ont initié l'étude.

Si cette étude n'apporte aucun argument en faveur d'un risque lié à l'exposition professionnelle aux RF dans cette population, les auteurs soulignent la proportion de personnes classées 'moyennement ou fortement' exposées, qui est modeste (environ 9 %), le faible nombre de sujets décédés (3,2 %), et l'âge relativement jeune du personnel de Motorola, ce qui ne permet pas d'exclure, selon eux, que des effets puissent se produire sur le long terme.

Dans un éditorial de la même revue<sup>32</sup>, RD Owen, le chef de la Radiation Branch de la FDA des Etats-Unis, se félicite de ce travail, qualifié de 'commencement', en rappelant qu'il n'est pas possible, en l'état actuel, d'extrapoler des données d'une gamme de RF à une autre, ni de prédire la présence ou l'absence d'effets à long terme. Il insiste sur le besoin de nouvelles recherches, avec une attention spéciale aux conditions d'estimation des expositions, tant en matière d'expérimentation que dans le cadre d'études épidémiologiques.

### ***Case control study on radiological work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors.***

**Hardell L. Med Gen Med, may 2000.**

Il s'agit d'une étude cas témoins en population réalisée en Suède concernant divers facteurs de risque de tumeur du cerveau. 209 sujets (hommes et femmes) porteurs d'une tumeur du cerveau (maligne ou bénigne) et 425 témoins ont été inclus dans l'analyse.

Les cas sélectionnés dans le Registre national des cancers proviennent de 2 régions différentes de Suède et ont été inclus entre 1994 et 1996 (sauf pour les tumeurs bénignes qui ne concernent que l'année 1996); ils étaient vivants au moment de l'inclusion. Le compte-rendu anatomo-pathologique était disponible pour 197 cas (136 tumeurs malignes et 62 tumeurs bénignes). Les témoins appariés sur le sexe, l'âge et la région ont été tirés au sort dans le Registre national de population.

L'exposition aux facteurs de risque a été évaluée par un autoquestionnaire envoyé à domicile aux sujets (complété par un entretien téléphonique en cas de besoin). Le recueil, le codage des questionnaires et les entretiens téléphoniques complémentaires ont été faits à l'aveugle du statut cas ou témoin. Les facteurs de risque concernaient : facteurs professionnels (profession, exposition aux

---

<sup>32</sup> Owen RD. Possible health risks of radiofrequency exposure from mobile telephones. Epidemiology, 2000, 11 : 99-100

rayonnements ionisants pour les personnels de santé, expositions chimiques), examens radiologiques, utilisation de téléphone cellulaire.

Les résultats montrent des associations parfois significatives pour certaines professions et avoir subi des examens radiologiques de la tête et du cou (on ne commentera pas les résultats concernant ces facteurs). Concernant l'utilisation d'un téléphone cellulaire, on observe une association significative (OR = 2.62 ; IC : 1.02 – 671), qui persiste après ajustement sur l'ensemble des facteurs de risque, avec la survenue de tumeurs de la zone temporale, occipitale ou le lobe temporo-parietal du côté de l'usage habituel du téléphone par le sujet (zone du cerveau la plus fortement exposée). En revanche, on n'observe pas d'association, ni pour les tumeurs de localisation contro-latérales vis-à-vis de l'oreille habituelle, ni pour l'ensemble des tumeurs quelque en soit le site. Ces résultats sont basés sur 13 cas exposés (10 tumeurs malignes et 3 bénignes) ; 9 cas ont été exposés uniquement à des téléphones de technologie analogique, et 3 à des téléphones de technologie analogique et GSM.

Commentaires du groupe d'experts : *il s'agit d'une étude de qualité, très solide pour divers aspects : recrutement des cas et des témoins dans un registre de population, recueil de données à l'aveugle et standardisé, prise en compte des principaux facteurs de risques connus ou soupçonnés de tumeurs du cerveau.*

*Les principaux arguments en faveur de la causalité sont une association claire, la prise en compte des principaux facteurs de confusion, la qualité globale de l'étude, et surtout le fait que l'excès observé corresponde à la localisation a priori la plus à risque sans être retrouvé pour des localisations plus éloignées de l'exposition, conférant ainsi une bonne vraisemblance biologique au résultat positif observé.*

*Les principales limites sont le faible nombre de cas exposés sur lesquels les résultats reposent (bien que l'étude soit globalement de bonne taille) ; de ce fait, il n'était pas possible de prendre en compte l'analyse de relations exposition-effet, ni des aspects temporels de l'exposition, ni la forme histologique des tumeurs. Le caractère homo-latéral de la localisation du cancer, par rapport à l'utilisation déclarée du téléphone est frappant, mais il est tout à fait possible, compte tenu des conditions de l'étude, qu'il s'agisse d'un artefact de déclaration.*

*En conclusion, cette étude apporte des arguments en faveur de l'hypothèse causale, mais reste malgré tout trop limitée pour aller plus loin dans ce sens ; en particulier, l'existence d'un biais de déclaration quant au côté habituel d'utilisation du téléphone, ne peut être exclue. L'étude se poursuit, et il sera évidemment intéressant d'avoir d'autres résultats, et de les confronter alors avec les autres études publiées sur le sujet.*

## **Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer**

JE Muscat, MG Malkin, S Thompson, RE Shore, SD Stellman, D McRee, AI Neugut, EL Wynder, JAMA, 284 (23), 3001-3007.

Cet article très attendu (il avait été présenté en juillet 2000, par G. Carlo - lequel avait contribué à son financement par le WTR - comme « étant suggestif d'un risque de cancer du cerveau », en particulier de site homolatéral à l'usage du téléphone mobile<sup>33</sup>, comme tendait à le montrer le travail de Hardell en 1999), a été publié mi-décembre. Il présente les résultats d'une enquête cas-témoins conduite entre 1994 et 1998 dans 5 établissements hospitaliers universitaires de la côte Est des Etats-Unis, sur 469 sujets (de 18 à 80 ans) atteints d'un cancer du cerveau et de 422 témoins appariés. L'exposition aux ondes associées aux mobiles a été caractérisée par questionnaire, et mesurée par le nombre d'heures d'utilisation mensuelle, et le nombre d'années d'usage.

---

<sup>33</sup> Scientific Progress - Wireless Phones and Brain Cancer: Current State of the Science. George L. Carlo, PhD, MS, JD, and Rebecca Steffens Jenrow, MPH, Wireless Technology Research, LLC Washington, DC, MedGenMed, July 31, 2000, Medscape.

Comparé aux non-utilisateurs, et après ajustement sur divers facteurs de confusion, l'usage du téléphone mobile se traduit par un 'Odds Ratio' (OR, mesure usuelle de « l'excès de risque ») de 0,85 (IC95% : 0,6-1,2) ; la durée moyenne d'utilisation était de 2,8 ans chez les cas contre 2,7 chez les témoins. Le caractère homo- ou contro-latéral du site du cancer, chez les cas, dépendait de la région du cerveau atteinte. Tous les types histologiques de cancer montraient des OR inférieurs à 1, sauf une forme rare, les neuro-épithéliomes (OR=2,1 [0,9-4,7]).

Les auteurs concluent de ce travail qu'il ne montre pas d'excès de risque de cancer du cerveau en lien avec l'usage d'un mobile, tout en considérant que des études sont encore nécessaires pour pouvoir prendre en considération, éventuellement, des durées d'induction qui seraient plus longues.

#### *Cellular telephone use and brain tumors.*

PD Inskip, RE Tarone, EE Atch, TC Wilkosky, WR Shapiro, RG Selker, HA Fine, PM Black, JS Loeffler, MS Linet. New England Journal of Medicine, 2001, 344 : 79-86 (mis sur internet le 19 décembre 2000).

Cette autre étude cas-témoins a été conduite entre 1994 et 1998 auprès de 782 sujets atteints de tumeurs intra-crâniennes (cancers du cerveau, méningiomes et neurinomes du nerf acoustique) et de 799 témoins victimes d'affections non tumorales, appariés (zone de résidence, âge et sexe), dans trois villes des Etats-Unis. Cette série est la plus grande disponible à ce jour.

L'usage d'un mobile pendant au moins 100 heures cumulées n'est pas associé à la présence d'une tumeur (OR= 1,0 [IC95% = 0,6-1,5] pour l'ensemble des formes de cancer, résultat qui varie selon cette forme, mais qui reste toujours non significatif sur le plan statistique, après prise en compte de divers facteurs de confusion). Les auteurs n'ont pas trouvé de relation entre la présence d'un cancer et l'intensité de l'usage (plus de 60 minutes par jour ou plus de 5 ans), non plus qu'entre cet usage et le côté de la tumeur.

Comme pour l'article précédent, les auteurs concluent que si leur étude ne montre pas de lien entre l'usage d'un mobile et l'apparition d'une tumeur du cerveau, elle ne permet pas de se prononcer sur les conséquences d'une exposition à long terme (8 % des sujets seulement avaient commencé à utiliser un mobile avant 1993).

Dans un éditorial de la même revue, deux sommités de l'épidémiologie du cancer considèrent que ce travail devrait être considéré comme rassurant, car il tend à confirmer d'autres publications sur le même sujet, et est cohérent avec la faiblesse des observations empiriques et l'absence de fondement théorique pour des effets carcinogènes d'origine non thermique<sup>34</sup>.

#### *Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore : a community study.*

Chia, S-E, Chia H-P, Tan J-S. Environ. Health Perspective, 2000, 108 : 1059-1062

Une étude épidémiologique transversale a été réalisée dans un échantillon aléatoire d'habitants d'un quartier de Singapour, dans le but de comparer la prévalence de divers signes subjectifs (maux de tête, étourdissements, fatigue, perte de mémoire...) selon l'usage fait de téléphones mobiles (TM). Dans cette population, constituée de 808 hommes et femmes de 12 à 70 ans, l'usage d'un TM est très

---

<sup>34</sup> Cellular telephones and brain tumors. D Trichopoulos et H-O Adami.

fréquent (44,5 %). Une attention particulière a été portée à la maîtrise de biais de sélection et de déclaration des troubles. Seuls les maux de tête sont associés significativement à l'usage d'un TM (OR = 1,31 [IC95% : 1,00-1,70]), avec une prévalence croissant selon la durée d'usage déclarée (jusqu'à 1 h par jour). Fait remarquable, les utilisateurs d'un TM déclarent moins de maux de tête s'ils sont équipés d'une oreillette mains-libres (41,7% si l'usage est constant, 54,4 % irrégulier, et 65,4 pour les non utilisateurs d'une oreillette). Les auteurs envisagent deux hypothèses étiologiques : les effets des ondes RF sur la barrière hémato-encéphalique et sur le système dopamine-opioïdes. Malgré les limites des études transversales, notamment la difficulté d'établir la séquence temporelle entre les facteurs étudiés, ce travail est en faveur d'un rôle des RF sur les maux de tête dans une population générale non sélectionnée. Il reste à vérifier que le contexte de la région étudiée (densité du rayonnement électromagnétique, bruit, pollution atmosphérique...) rend ces résultats extrapolables à d'autres situations. On remarquera que le taux de prévalence de maux de tête déclarés dans cette population est très élevé ; ainsi, par exemple, au sein de la cohorte GAZEL (40-60 ans), en France, les taux (prévalence au cours des 12 mois) sont de l'ordre de 15-20 % chez les hommes et de 33-38 % chez les femmes.

*The Possible Role of Radiofrequency Radiation in the Development of Uveal Melanoma.*

Andreas Stang, Gerasimos Anastassiou, Wolfgang Ahrens, Katja Broman, Norbert Bornfeld, and Karl-Heinz Jöckel. *Epidemiology*, Volume 12, Number 1, January 2001,

Un très récent article vient d'être publié dans la revue *Epidémiology*, qui présente les résultats d'une étude cas-témoins réalisée par une équipe Allemande sur la relation entre l'exposition professionnelle à différentes sources de CEM, dont des RF, et l'incidence d'un mélanome uvéal, qui affecte un tissu de l'œil entre la cornée et le cristallin. Sur une série de 118 cas et 475 témoins, un excès de risque associé aux RF est mis en évidence en relation avec les téléphones mobiles (OR = 4.2, IC95% = 1.2-14.5).

Malgré le sérieux de la revue scientifique, le groupe d'experts ne peut se prononcer sur ce travail, n'ayant eu que le résumé de l'article, et non le texte *in extenso*.

Conclusion générale du groupe d'experts sur les travaux récents : *La littérature récente n'apporte pas d'éléments tranchant nettement d'avec les connaissances disponibles précédemment*

*Les publications relatives aux travaux de type expérimental précisent ce qui était déjà décrit concernant l'effet d'une exposition sur certaines fonctions cognitives, chez l'animal comme chez l'homme. S'agit-il d'un effet 'microthermique' ? Des phénomènes hormonaux sont-ils en jeu ? Il est difficile de le dire en l'état actuel des connaissances, comme il est à ce jour impossible de conclure que ces manifestations représentent véritablement des risques pour l'homme, lors d'expositions prolongées et/ou répétées. Cependant, on ne manquera pas de mettre ces résultats en relation avec le travail épidémiologique conduit à Singapour qui suggère de manière convaincante qu'un usage important du téléphone mobile pourrait entraîner des maux de tête. Issu d'un protocole d'étude relativement fruste, un tel résultat doit être confirmé et validé par d'autres approches et dans d'autres circonstances, avant de prendre force d'évidence.*

*Les publications relatives à l'apparition de micro-noyaux dans des cellules exposées aux RF demandent aussi répétition. Elles ne sont pas les premières à s'intéresser à des expositions de durée relativement longue (24 heures en continu, voire plusieurs jours) ; on notera à cet égard que d'autres études sont 'négatives'<sup>35</sup>. Cependant, si des expositions ininterrompues d'aussi longue durée sont peu*

<sup>35</sup> Notamment : Adey et al (1999) : Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res.* 152(3):293-302; et : (2000) Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res.* 1;60(7):1857-63.

*réalistes dans la vie quotidiennes, elles suggèrent des voies d'exploration de l'effet d'expositions répétitives, dont l'effet cumulé est incertain ; des travaux sont d'ailleurs en cours dans ce domaine.*

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

## **C- Les enfants et l'exposition aux RF associées à la téléphonie mobile**

Le rapport dirigé par W. Stewart a recommandé que l'usage de téléphones mobiles par les enfants (de moins de 16 ans) soit découragé, sauf en cas de besoin essentiel. Cet avis s'appuie sur les principaux arguments suivants :

- la dose d'exposition reçue par le crâne d'un jeune enfant serait supérieure à celle reçue par un adulte, à puissance égale d'émission du mobile ;
- la sensibilité des enfants à des agents extérieurs serait supérieure à celle des adultes,
- l'exposition cumulée des enfants serait, dans le futur, supérieure à celle des adultes, en raison de l'irruption récente de la téléphonie mobile.

Le groupe d'experts a également étudié cette importante question.

Concernant le rayonnement absorbé par la tête d'un enfant, laquelle est de plus petite dimension, les faits ne sont pas clairement établis à l'heure actuelle. Un travail de l'équipe de Gandhi (1996), de l'Université de l'Utah, avait conclu que le DAS reçu par le crâne d'un enfant de 5 ans était 3,3 fois supérieur à celui reçu par un adulte, ce ratio étant de 2,2 pour un enfant de 10 ans, pour une fréquence de 835 MHz, mais sans différence à 1900 MHz. En 1998, Schönborn et al font une nouvelle étude de modélisation et de simulation, aux mêmes fréquences, mais avec des fantômes de crâne plus représentatifs de ceux des enfants (respectivement 3 et 7 ans), et contredisent les résultats de Gandhi et al. Parmi les critiques formulées à l'encontre du travail initial, ces auteurs indiquent en effet que les modèles de crâne utilisés n'étaient que des réductions proportionnelles de ceux d'adultes, ce qui ne correspond pas à des crânes d'enfants. D'autres auteurs (Kuster et Balzano [1992], Hombach et al [1996], et Meier et al [1997] vont dans le même sens que Schönborn et al. Un autre travail, sur lequel semble s'appuyer Stewart, a été réalisé sur des rats de différents âges (Peyman et al 2000)<sup>36</sup>, montrant des différences de constantes diélectriques du cerveau, des glandes salivaires et de la masse musculaire, entre des jeunes rats de 10 et 20 jours, mais sans réduction de la conductivité électrique au delà de l'âge de 20 jours. Il est très difficile, à partir de telles données animales (non encore publiées), d'extrapoler ces résultats à la situation des âges dans l'espèce humaine.

Les autres arguments de W Stewart et al sont discutés et développés dans la suite. L'âge à la première exposition est un paramètre pouvant influencer le risque de développer une pathologie à effet différé à long terme. C'est surtout pour le risque de cancer que le problème est posé, mais tout effet différé peut présenter les mêmes caractéristiques. L'épidémiologie des cancers apporte des arguments pour la prise en compte de l'âge à la première exposition, qui peut moduler le risque pour diverses raisons.

- *Sensibilité différente* : pour des raisons tenant au développement (tissus en évolution, ...), et à la physiologie (plus grande activité s'accompagnant d'une absorption plus élevée, paramètre dont la pertinence pour les rayonnements des RF n'est pas évidente), les enfants peuvent être plus sensibles que les adultes à l'effet cancérigène d'une exposition. L'exemple peut-être le mieux

<sup>36</sup> Peyman, Rezazadeh et Gabriel, poster présenté à la réunion annuelle de la Société de la BEMS (BioElectromagnetics Society), Munich, 9-14 juin 2000. « Changes of the dielectric properties of aging rat tissues ».

établi est celui du tabac : plus l'âge de début du tabagisme est faible, plus le risque de cancer du poumon est élevé, toutes conditions d'exposition égales par ailleurs (quantité moyenne, dose cumulée, etc.). On a, cependant, également des contre-exemples : pour l'amiante, tous les résultats disponibles montrent qu'il n'existe vraisemblablement pas d'effet de l'âge à l'exposition, le risque étant identique lorsque la première exposition survient dans l'enfance ou à l'âge adulte.

- *Effets « mécaniques » du temps* : qu'il existe ou non une sensibilité accrue pendant l'enfance, le risque « vie entière » de développer un cancer occasionné par une exposition est d'autant plus important que cette exposition intervient tôt dans la vie. Ceci est dû à la conjonction de deux phénomènes qui vont dans le même sens : (i) globalement, plus l'exposition est précoce et plus l'exposition cumulée vie entière sera élevée (si cette exposition est continue : ceci évidemment n'est pas vrai si l'exposition cesse ou diminue avec le temps) ; or, le paramètre pertinent pour la quantification du risque dans le domaine du cancer est en règle le niveau d'exposition cumulée ; (ii) plus l'exposition est précoce et plus le temps « disponible » pour développer un effet lié à cette exposition est élevé, et ceci d'autant plus que le temps de latence entre exposition et occurrence de l'effet est long. Par exemple, le risque de développer un mésothéliome de la plèvre est quasiment nul si on est exposé à l'amiante, même de façon très intense, à partir de l'âge de 80 ans, le temps de latence moyen étant de 35 ans environ : on sera probablement décédé avant d'avoir eu le temps de développer un mésothéliome ; inversement, si l'exposition est précoce, le risque sera d'autant plus élevé, alors même qu'il ne semble pas exister de sensibilité intrinsèque pour les enfants, comme cela est rappelé plus haut.

A ces arguments, il est fondé d'opposer que l'hypothèse sur lesquels ils reposent est que l'exposition sera continue dans le temps. Or, s'agissant des technologies des radiocommunications, il est clair que les rayonnements unitaires ont tendance à baisser, en particulier le téléphone mobile va rapidement quitter la proximité de la tête (cf le paragraphe sur les évolutions technologiques dans le chapitre II) ; la multiplication des sources de rayonnement dans notre univers quotidien pourrait en revanche compenser cette évolution favorable.

Ces différentes données conduisent le groupe d'experts à recommander une attitude « d'évitement prudent », sans considérer que les données scientifiques actuelles justifient des mesures réglementaires contraignantes.

## **4- Les auditions d'experts**

Les auditions des personnalités des milieux scientifiques, administratifs, associatifs ou industriels se sont déroulées au cours de deux séances plénières du groupe d'experts, les 27 octobre et 23 novembre, au Ministère des Affaires Sociales. Chaque entretien se déroule en deux parties. Dans un premier temps, l'intervenant est invité à présenter ses réponses aux questions que le groupe d'experts lui a adressées par courrier en septembre. Dans un second temps, est organisée une discussion avec les membres du groupe d'experts. Enregistrés, ces entretiens ont été retranscrits puis soumis pour validation à chaque personnalité invitée.

Trois auditions se sont déroulées différemment de ce format : George Carlo, qui fut le directeur du programme de recherche WTR aux Etats-Unis, a répondu au groupe d'experts lors d'une conférence téléphonique le 23 novembre en soirée ; Marc Séguinot, représentant la DG SANCO de l'Union Européenne, a rencontré le groupe d'experts le 14 décembre 2000. Dans ces deux cas, les entretiens n'ont pu être retranscrits, et le compte-rendu qui en est fait est plus synthétique. Philippe Quenel, responsable du Département Santé-Environnement de l'InVS a répondu par courrier aux questions qui lui avaient été posées sur la surveillance des possibles effets sanitaires associés à la téléphonie mobile. Par souci de cohérence, cette contribution, dont le groupe d'experts endosse le contenu, est placée dans le chapitre relatif aux recommandations de recherche et d'études (chapitre VI). Enfin Monsieur Roger Santini de l'INSA de Lyon sollicité pour exprimer son point de vue, a fait savoir par courrier en date du 5 septembre 2000, qu'il ne jugeait pas nécessaire de venir exprimer son avis devant le groupe d'experts. Cette section comporte aussi la réponse donnée, par Laurent Bontoux, de la Direction générale de la recherche de la Commission européenne, au courrier qui lui a été adressé sur les orientations de recherche en matière de RF et santé.

*Première session d'auditions, le 27 octobre 2000*

### **Audition de Joe WIART**

#### **représentant l'Association GSM<sup>1</sup>**

##### **3- Réponse aux questions écrites**

1. Comment est organisée la veille scientifique des opérateurs de téléphonie mobile en France sur la question de ses possibles effets sanitaires ?

##### **a. Le suivi d'activités de recherche**

Un groupe de travail sur l'environnement ainsi qu'un poste à plein temps de Directeur des affaires environnementales ont été créés au sein de l'Association GSM. Leur activité consiste à :

---

<sup>1</sup> L'Association GSM représente les intérêts d'environ 490 membres provenant de pays européens et d'autres continents (opérateurs GSM de troisième génération satellite, établissements administratifs, constructeurs).

- suivre les travaux de l'OMS et de l'ICNIRP, les symposiums scientifiques et toute réunion liée à ces questions ;
- suivre la littérature scientifique ;
- recueillir l'avis de scientifiques sur les résultats scientifiques nouveaux ;
- fournir cette information aux membres de l'Association GSM ;
- assurer la liaison entre les différentes composantes (gouvernement, industrie, consommateurs).

**b. Le soutien financier aux recherches portant sur les effets possibles des ondes électromagnétiques**

Le public s'intéresse de plus en plus à ces questions. De son côté, la communauté scientifique s'accorde à penser que le niveau d'exposition résultant de l'utilisation des mobiles et des stations de base ne représente aucun risque pour la santé. Néanmoins, selon la Recommandation européenne du 12 juillet 1999, il est nécessaire de poursuivre des recherches complémentaires. En outre, l'OMS va conduire une analyse de l'ensemble des résultats disponibles en 2003-2004. Une base de données complète s'avérant indispensable pour faire cette analyse, l'Association GSM a décidé de financer des études en coopération avec les constructeurs de mobiles (MMF, *Mobile Manufacturers Forum*) dans le cadre du cinquième Plan de l'Union européenne. Cette recherche cofinancée par l'Association GSM est complétée par la participation de membres de l'Association à des projets de recherche au niveau national.

c. Projets de recherche cofinancés par l'Association GSM (actuels ou à venir)

***PROJETS COFINANCES AVEC L'UNION EUROPEENNE, LES AUTORITES NATIONALES ET LE MMF***

- Projet Perform A : analyse de la carcinogénicité sur les animaux
- Projet Interphone : étude épidémiologique multi-pays organisée par le CIRC

***PERSPECTIVE DE PROJETS COFINANCES AVEC LES AUTORITES NATIONALES ET LE MMF***

- Projet Perform B : étude de réplcation sur l'animal et les cellules
- Etude sur le DMBA en Chine

**IV- Quelles sont les évolutions technologiques actuellement engagées au plan français ou international qui peuvent entraîner une modification du niveau ou des conditions d'exposition du public aux CEM-RF lié à la téléphonie mobile dans les années à venir ?**

**D- Evolution du nombre d'utilisateurs de mobiles**

Le nombre d'utilisateurs de mobiles continue d'augmenter. Ainsi, il existait en France 200 utilisateurs en 1992, ils sont 26,2 millions en septembre 2000. Le taux de pénétration atteint 40,4 % en juin 2000 et devrait prochainement atteindre 50 % d'après les analystes. Cette évolution exige donc une augmentation de la capacité des réseaux.

**E- L'impact de UMTS et de Bluetooth : évolution de l'usage des mobiles et évolutions technologiques**

A l'avenir, l'évolution majeure proviendra de UMTS et de Bluetooth. De nouvelles utilisations des radiotéléphones vont émerger - lecture et analyse de l'écran -, de nouvelles fréquences vont être utilisées et de nouvelles caractéristiques techniques vont être développées.

Pour les réseaux, l'augmentation du nombre d'utilisateurs et de la densité des cellules va engendrer une décroissance du niveau d'émission des mobiles et des stations de base. En effet, le contrôle de puissance constitue un facteur important dans l'émission d'un radiotéléphone : plus l'utilisateur est proche de la station, moins il est nécessaire d'émettre de façon importante. De fait, l'une des contraintes de la téléphonie mobile en général dans le cadre de la réutilisation des fréquences ou des gammes de fréquence dans différents secteurs géographiques est de limiter au maximum les

interférences. Donc, pour réutiliser une fréquence donnée à quelques kilomètres du lieu initial, il est nécessaire que tous les mobiles travaillant dans cette gamme émettent le plus faiblement possible.

#### **F- Principales caractéristiques de UMTS et de Bluetooth**

Pour l'UMTS, seules les classes 3 et 4 ont été normalisées en 1999 : la classe 4 (21 dBm) représente 125 mW et est réservée à la téléphonie et les données tandis que la classe 3 (24 dBm) est réservée aux terminaux de données uniquement.

Vis à vis des interactions des ondes EM avec les personnes, Bluetooth se résume principalement à des émetteurs en classe 3 (1 mW) qui se placent près de l'oreille, avec des fréquences de 2,4 GHz.

V- Quelles sont les mesures mises en œuvre par les opérateurs français pour que l'exposition du public aux CEM-RF soit réduite au « plus bas niveau raisonnablement possible » (ALARA) pour les téléphones et les stations de base ?

#### **G- Conformité de l'émission aux besoins et respect de la législation**

La capacité est un élément critique pour les réseaux de téléphonie mobile. Il est important de limiter les interférences entre les différentes cellules ou zones géographiques afin de maximiser les capacités dans les technologies, qu'il s'agisse des technologies actuelles telles que le GSM, ou à venir comme l'UMTS. En outre, le contrôle des puissances émises par les systèmes est essentiel pour garantir la qualité. En effet, pour que le rapport signal sur interférence soit acceptable, les interférences doivent être limitées le plus possible. Les mobiles et stations de base, sous instruction du réseau, travaillent donc à une puissance minimale qui permet toutefois un signal acceptable : les opérateurs émettent uniquement ce qui est strictement nécessaire. En outre, ils respectent la législation en vigueur dans les pays où ils sont implantés.

#### **H- Le principe ALARA**

A la lecture du document de l'OMS, on constate que selon la communauté scientifique, les mobiles et les stations de base ne représentent pas de risques sur la santé tant que les émissions sont inférieures aux valeurs recommandées par l'OMS. Dans la publication «electromagnetic field and public health cautionary policies » de l'OMS, nous pouvons lire «ALARA is not an appropriate policy for EMF in the absence of any expectation of risk at low exposure levels and given the ubiquity of exposure». Par conséquent, le principe ALARA ne semble pas être une règle appropriée pour les champs électromagnétiques.

## **II. Discussion avec les membres du groupe d'experts**

Q : Les stations de base émettent de manière directionnelle (environ 120° d'amplitude horizontale). Est-ce possible de faire de même avec les antennes des mobiles, de telle sorte que le crâne soit moins exposé ?

R : D'une part, s'agissant du niveau d'exposition des tissus proches de l'antenne ou du radiotéléphone, nous respectons la réglementation en vigueur puisque la grande majorité voire la totalité des mobiles émettent en dessous des niveaux recommandés. Dans ces conditions, selon l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de contre-indication à l'utilisation d'un mobile. D'autre part, si les constructeurs cherchent à avoir une dissymétrie, cela peut se répercuter sur la qualité d'écoute : dans un champ émis par les stations de base, les utilisateurs capteraient difficilement le signal. En effet, si on oriente les émissions, on oriente également la réception, il faudrait donc que l'utilisateur se place dans la direction de l'antenne ; ainsi, en déplacement, il devrait à chaque instant orienter son téléphone afin d'obtenir une qualité optimale.

Q : Les stations de base diminuent-elles fréquemment leur puissance d'émission ou sont-elles toujours proche du niveau maximum ?

R : Pour le GSM, une station de base est constituée de plusieurs émetteurs :

- un émetteur pilote (*broadcast channel, BCCH*) qui émet toujours au maximum de sa puissance ;
- d'autres émetteurs dont la puissance d'émission varie en fonction du nombre d'utilisateurs qui téléphonent à l'instant t. Un contrôle de puissance s'exerce sur ces émetteurs afin de limiter les interférences. Les puissances - y compris maximales - sont donc limitées afin que cette bande de fréquence puisse être réutilisée le plus rapidement possible dans d'autres cellules.

Q : En tissu urbain (saturé ou presque), les émetteurs travaillent-ils toujours à puissance maximum ?

R : Non. La densification est nécessaire pour absorber les pics de trafic. Notons qu'une station donnée n'émet pas toujours à son maximum. Sa puissance d'émission varie en fonction des plages horaires qui sont tantôt saturées, tantôt creuses. La puissance existant à l'entrée d'une antenne pour un émetteur dépend de la configuration, urbaine ou rurale et de la taille de la cellule. Le champ émis dépend de l'antenne, de sa configuration et de son objectif (concentrer l'énergie dans un petit pinceau...). Les champs autour des antennes de stations de base décroissent rapidement : pour les antennes se trouvant sur les toits au-delà de quelques mètres, on est en dessous des niveaux de référence.

Q : En effet, une station de base saturée signifie que tous ses canaux sont occupés et non qu'ils émettent tous à puissance maximale. Par contre, qu'émet une station de base saturée par rapport à sa puissance maximale (40 %, 60 %...) ?

R : Cela dépend de la gestion du contrôle de puissance effectuée par l'opérateur. Aucune étude n'a été publiée à ce sujet pour l'instant. Je connais l'influence du contrôle de puissance sur l'exposition des radiotéléphones – un article, accepté dans IEEE trans on EMC, traite de ce sujet - le champ émis est en moyenne plus faible que le champ maximal en raison du contrôle de puissance sans tenir compte du DTX (qui permet de n'émettre que lorsque l'on parle). Ce sont des études statistiques.

Q : Quelle est en moyenne la puissance d'une station de base en zone urbaine ?

R : Il est difficile de donner un chiffre, pour les antennes se trouvant sur les toits je dirais 10 à 20 W. Vis-à-vis de l'exposition et de la protection des personnes aux rayonnements, il faut prendre en compte la puissance arrivant au pied de l'antenne, c'est-à-dire ce qui rentre dans l'antenne avant d'être rayonné. En région parisienne, un émetteur a une puissance de 5 W au pied de l'antenne, pour un TRX.

Q : La distance à partir de laquelle les valeurs de DAS correspondent aux recommandations est-elle de quelques mètres ?

R : Les distances que j'ai données pour les stations de base correspondent aux niveaux de référence. Les restrictions de base fixées par l'ICNIRP et la recommandation européenne sont définies en W/kg (en DAS). A la place du DAS, il est possible d'utiliser les niveaux de référence qui garantissent que les restrictions de base sont vérifiées. En revanche, il est impossible d'utiliser les niveaux de référence pour les radiotéléphones, car la situation est celle 'du champ proche'.

Q : Quelles sont les conséquences possibles sur les basses fréquences du passage à la très haute fréquence avec UMTS et Bluetooth ? Qu'est-ce qui a été réalisé d'un point de vue épidémiologique et expérimental ?

R : La réponse à ces questions est du ressort des biologistes, non de l'Association GSM. Actuellement, les recommandations internationales couvrent toutes les fréquences. Dans ce cadre, les systèmes qui vont être utilisés par l'UMTS donneront des champs et des DAS qui devront être conformes à ces recommandations. Les puissances émises par les UMTS sont de 125 mW Le contrôle de puissance est plus rapide sur UMTS (toutes les 0,66 millisecondes) que sur le GSM (au minimum 60 millisecondes, mais le plus souvent plusieurs secondes).

Q : Les opérateurs GSM rassemblés dans l'Association sont-ils impliqués dans de nouveaux protocoles autres qu'UMTS : TETRA, DECT, boucles locales radio et vont-ils se préoccuper des effets de ces systèmes ?

R : Pour l'instant, les boucles locales radio ne font pas strictement partie des téléphones mobiles. Les entités qui vont s'occuper de ces stations vont s'occuper de la conformité de ces systèmes aux normes internationales. Aujourd'hui, lorsque nous implantons une antenne de station de base sur un système, nous prenons en compte les systèmes qui existent autour.

## **Audition de Jean-Claude CARBALLE,**

### **représentant le Mobile Manufacturers Forum (MMF)**

#### **4- Présentation du MMF**

Le MMF est une association internationale de fabricants d'équipements de radiocommunication mobile créée en 1998 qui compte parmi ses adhérents Alcatel, Ericsson, Mitsubishi Electric, Motorola, Nokia, Panasonic, Philips, Siemens et Sony. Son but est de soutenir des recherches dans le domaine du bioélectromagnétisme, ainsi que de collaborer en matière de normes, de réglementation et d'activités de communication relatives à la santé en relation avec la téléphonie mobile. D'une façon plus précise, elle s'est fixée les objectifs suivants :

#### **I- Recherche sur la santé et la sécurité des équipements de communication mobile**

- Encourager et financer des recherches indépendantes de qualité en conformité avec les recommandations émanant du projet sur les champs électromagnétiques de l'OMS.

#### **J- Harmonisation des normes nationales et internationales**

- Adopter une approche mondiale cohérente et harmonisée au niveau des tests de conformité, afin que toutes les normes d'exposition soient fondées sur les meilleures données scientifiques disponibles.
- Commanditer des recherches de qualité en appui du développement des normes afin de comparer les différentes techniques de mesure.

#### **K- Politique de réglementation**

- Coordonner au niveau mondial le développement et la présentation des avis des industriels du téléphone mobile.
- Communiquer ces avis aux pouvoirs publics, notamment aux autorités de réglementation.
- Répondre aux demandes d'information ou d'aide, formulées par des organismes nationaux ou internationaux sur des questions relatives à l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les équipements mobiles de communication.

#### **L- Communication au public**

- Donner au public, en matière d'exposition aux champs électromagnétiques, une information précise et des analyses de qualité pour ce qui touche à la sécurité des équipements mobiles de communication et à la santé de leurs utilisateurs.
- Apporter une assistance aux organisations professionnelles nationales (en France, la FIEEC et le GITEP) en leur fournissant des informations émanant des entreprises adhérentes.

Certains syndicats professionnels de la FIEEC ont édité ce mois-ci une plaquette intitulée « Point sur les champs électromagnétiques » - qui inclut donc la radiotéléphonie - à destination des adhérents et des organismes officiels intéressés. Je vous remet cette brochure et celle du MMF. Je vous invite à vous reporter à la brochure de présentation du MMF pour prendre connaissance des recherches financées par le MMF et des avis du MMF sur les problèmes de santé, points que je n'ai pas le temps de vous présenter.

## 5- Réponses aux questions écrites du groupe d'experts

VI- Quelles sont les évolutions technologiques actuellement engagées, au plan français ou international, qui peuvent entraîner une modification du niveau ou des conditions d'exposition du public aux CEM-RF liés à la téléphonie mobile dans les années à venir ?

### M- Extension du réseau actuel de deuxième génération

La première évolution technologique concerne l'extension du réseau actuel pour le développement des services traditionnels de téléphonie mobile. Fin septembre 2000, 26 millions de téléphones mobiles étaient utilisés en France. En outre, le nombre d'abonnés va continuer à croître. Dès la fin de l'année 2000 le taux de pénétration des mobiles atteindra 50 %.

Les niveaux de DAS (débit d'absorption spécifique) des téléphones mobiles de deuxième génération ne devraient pas évoluer sensiblement. Seule une évolution du réseau pourrait affecter de façon sensible ce paramètre.

La taille des « cellules » (zone géographique couverte par une station de base) dépend de trois paramètres :

- la topologie du terrain (collines, bâtiments, etc.) ;
- la bande de fréquence utilisée (plus la fréquence est élevée, plus la cellule est petite) ;
- la capacité (nombre d'appels que peut traiter une cellule).

Ainsi, les stations de base GSM sont espacées de 0,2 à 0,5 km en ville et de 2 à 5 km en campagne. La limite en capacité de nombre d'appels des stations de base est un élément important pour l'évolution des conditions d'exposition. En effet, une augmentation du nombre d'utilisateurs implique une augmentation du nombre de cellules et donc une diminution de leur taille. Plus la taille de la cellule est petite, plus le niveau de puissance maximum émis par la station de base est faible afin d'éviter les effets d'interférence avec les cellules voisines. En outre, afin d'économiser la consommation de batterie, chaque téléphone mobile, pendant la conversation, ajuste son niveau de puissance à la valeur minimale nécessaire pour que la station de base reçoive un signal suffisant (*Adaptive Power Control, APC*). De même, la station de base se règle en permanence à son niveau d'émission minimum. Ainsi, plus la distance entre téléphone et station de base est faible (cas des petites cellules), plus les niveaux d'émission du téléphone (et donc les valeurs réelles du DAS) sont petits.

Par conséquent, la densification du réseau se traduit, pour l'utilisateur d'un téléphone mobile, par une exposition réelle réduite, et non accrue comme le pense le sens commun.

### N- Développement de nouveaux services mobiles à large bande (troisième génération)

La seconde évolution technologique concerne le développement de nouveaux services mobiles à large bande associant voix, données, images et notamment les services de type Internet, étant donné que la croissance du nombre d'utilisateurs d'Internet est exponentielle. Ce développement s'effectuera en deux étapes :

- utilisation des réseaux actuels (GSM) pour la mise en place de téléphones mobiles de type Internet (*Wireless Access Protocol - WAP*) ;
- déploiement d'un réseau de troisième génération dit UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) spécifiquement étudié pour offrir des services large bande.

#### CONDITIONS D'EXPOSITION ET PUISSANCE EMISE

La technologie UMTS se différencie du GSM par le choix d'une nouvelle technique de modulation sur l'interface radio, le CDMA (*Code Division Multiple Access*). Cette technique sera dans un premier temps caractérisée par une puissance émise quasi constante (contrairement au GSM), de valeur moyenne équivalente à celle du GSM.

La technologie UMTS se décline en deux modes :

- UMTS FDD (*Frequency Duplex*) qui utilise la technologie CDMA à large bande ;

- UMTS TDD (*Time Division Duplex*) qui combine la technologie CDMA avec un accès multiple à répartition dans le temps (TDMA).

Les spécifications techniques de l'UMTS ne comportent pas encore d'indications relatives à la puissance maximale des stations de base. Des classes de puissance - comme cela existe pour le GSM - seront toutefois définies en mars 2001. Les fabricants de stations de base ont annoncé des valeurs de puissance disponibles au connecteur d'antenne de leurs stations de base voisines de 20W. Cette valeur résulte d'un compromis entre deux éléments :

- les possibilités de la technologie actuelle des amplificateurs de puissance à large bande ;
- le souhait des opérateurs de réutiliser les sites radio GSM/DCS existants pour implanter des stations de base UMTS.

La fréquence d'émission utilisée pour les réseaux UMTS se situera dans un premier temps dans une bande de 1 920 à 2 200 MHz avec la perspective d'allocation de nouvelles bandes à 2,5 GHz dans quelques années. La transition de la deuxième génération vers la troisième s'effectuera progressivement.

#### *CONDITIONS D'EXPOSITION ET CHANGEMENTS D'USAGE DU MOBILE : L'APPORT DE LA TECHNOLOGIE BLUETOOTH*

Le changement d'usage représente l'élément majeur susceptible d'influer sur les conditions d'exposition. Du fait des nouvelles applications de type multimédia, des modifications seront apportées au *design* des terminaux, notamment un agrandissement de la taille de l'écran et une utilisation d'oreillette permettant simultanément communication orale et visualisation des données et images à l'écran.

La technologie Bluetooth, destinée à éliminer les connections filaires et par infrarouge entre dispositifs - entre téléphone mobile et oreillette mais aussi entre téléphone, ordinateur, appareils photos etc - permettra ce type d'approche. Basée sur une technologie radiofréquence à 2,4 GHz et un niveau de puissance très faible (probablement inférieur à 2,5 mW pour les téléphones mobiles), son débit d'information pourra atteindre 1Mbit/s avec une portée d'environ 10 mètres.

Toutes ces technologies seront développées dans le respect des normes existantes fondées sur les conclusions des études scientifiques. Cela permet de développer des applications dans un environnement de standards solides dans le domaine de la sécurité.

**En conclusion, des évolutions des conditions d'exposition pourront survenir dans le futur pour des raisons techniques et/ou d'usage et non pour des raisons sanitaires qui ne justifient pas de telles évolutions. En effet, après analyse des études scientifiques approfondies menées depuis bien des années, les experts internationaux ont conclu, à ce jour, que les faits existants rapportés ne montrent pas d'effets négatifs sur la santé publique.**

VII- Quelles sont les mesures mises en œuvre ou envisagées dans l'avenir par les industriels français des équipements de téléphonie mobile pour que l'exposition du public aux CEM-RF soit réduite au « plus bas niveau raisonnablement possible » (ALARA) pour les téléphones et les stations de base ?

En accord avec la position prise par l'Organisation Mondiale de la Santé, le MMF considère que ni le principe de précaution ni le principe ALARA ne s'appliquent aux champs électromagnétiques (CEM) et ne doivent donc pas servir de référence à la mise en place d'une politique de santé publique relative

à l'exposition aux CEM. Les organismes de normalisation, les agences gouvernementales et les autorités sanitaires évaluent périodiquement le contenu des études scientifiques conduites sur le sujet. Les conclusions de leurs évaluations les plus récentes sont résumées dans les documents remis en séance<sup>37</sup>. D'une façon générale, les experts internationaux, sur la base des faits scientifiquement établis, concluent à la non mise en évidence d'effets négatifs sur la santé. En accord avec ces conclusions d'experts, l'OMS dit que « ALARA ne s'applique pas à la mise en place d'une politique de santé publique relative à l'exposition aux CEM. En réalité elle ne convient pas aux CEM (qu'ils soient générés par les lignes électriques ou les radiofréquences) en l'absence de tout risque attendu à ces faibles niveaux d'exposition et compte tenu de la généralisation de l'exposition ».<sup>38</sup>

#### **9.2.1.1.2. Discussion avec les membres du groupe d'experts**

Q : Quelles sont les incidences de la transmission de données à haut débit (au niveau visuel) sur la puissance d'information ?

R : Il n'existe aucun lien entre la puissance d'information et la transmission d'informations à haut débit. Les puissances émises en GSM et en UMTS seront du même ordre. La bande passante des canaux en GSM/DCS est faible mais sera plus large avec l'UMTS : L'élargissement de la bande permettra de transmettre des informations ayant plus de contenu, et comprenant à la fois des données et des images, y compris des images animées. Ainsi l'usage va changer. Les objets devront être adaptés à leur usage et les services rendus également adaptés. Ainsi, même si l'on agrandit la taille de l'écran des téléphones mobiles, ce n'est pas pour autant qu'on utilisera Internet sur un téléphone mobile comme on le fait sur un ordinateur.

Q : Considérez-vous que la partie audio de l'utilisation des mobiles passera par Bluetooth plutôt que par contact direct avec l'oreille ?

R : Oui, toute l'information y compris audio passera par Bluetooth lorsque Bluetooth sera utilisée. La technologie Bluetooth permettra d'utiliser l'oreillette ou le casque plus facilement, en évitant les problèmes rencontrés actuellement avec ce genre d'accessoires.

Q : Le passage à puissance constante en UMTS est-il un impératif technique ?

R : Le problème principal est un problème de bilan de liaison et de densification de réseau. Actuellement, plus la fréquence est élevée, plus la distance est limitée. Les fréquences étant voisines, il n'y aura pas de différence de bilan de liaison. En outre, quand un réseau est peu dense, deux options sont possibles : disposer soit de stations de base plus distantes avec des niveaux de puissance plus forte, soit de stations de base plus nombreuses avec des niveaux plus faibles. Un problème économique s'ajoute aux problèmes techniques : le nombre d'appels sur une station de base étant limité, dès lors qu'il y a une densification forte du réseau, il est nécessaire de créer des microcellules complémentaires (comme on le constate en ville). Cela se traduit par des niveaux de puissance plus faibles au niveau de la station de base et du terminal. Généralement, quand la station de base est petite (petit rayon), l'utilisateur de téléphone mobile est près de cette station. La puissance des stations de base doit donc être faible pour des raisons techniques : il s'agit d'éviter les interférences avec les stations de base voisines.

Q : Le public est concerné par la multiplication des sources : téléphonie mobile, TETRA, DECT, BLR... Les constructeurs membres du MMF sont-ils concernés par les effets biologiques de la téléphonie mobile (GSM puis UMTS) et ceux des autres sources ?

---

<sup>37</sup> Le document de Monsieur Carballès, remis en séance, cite des rapports de l'ICNIRP, de la Commission Européenne (European Commission Expert Group, Possible Health Effects Related to the Use of Radiotelephones. Proposals for a Research Programme by a European Commission Expert Group. [1996]), de la Société Royale du Canada (A Review of the Potential Health Risks of Radio frequency Fields from Wireless Telecommunication Devices [Mars 1999]), du rapport Stewart (Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile Phones and Health, Chairman Sir William Stewart [Mai 2000]) et de l'OMS (Repacholi MH. Low-level exposure to radio frequency electromagnetic fields: Health effects and research needs. Bioelectromagnetics 19:1-19 [1998]). Ces documents sont présentés par ailleurs dans le rapport.

<sup>38</sup> [http://www.who.int/peh-emf/publications/facts\\_press/EMF-Precaution.htm](http://www.who.int/peh-emf/publications/facts_press/EMF-Precaution.htm)

R : La plupart des autres sources, notamment le DECT, émettent une puissance très faible. Des licences d'installation de Boucle Locale Radio ont été accordées récemment par l'ART à de nouveaux opérateurs afin de faciliter certains points d'accès et d'éviter les accès filaires. Les fréquences utilisées fonctionnent dans la zone de 3 à 40 GHz. Deux gammes de fréquences sont utilisées en France : 3,5 GHz et 26 GHz. Les niveaux émis sont plus faibles que ceux produits par les stations de base de type conventionnel. En revanche, je ne dispose pas d'éléments précis sur les effets biologiques possibles à 26 GHz.

Q : Est-il possible d'afficher les valeurs de DAS sur l'écran de l'utilisateur et de prévoir des spécifications techniques pour que les résultats affichables soient fiables et homogènes selon le constructeur ?

R : Le DAS étant un élément technique très compliqué, il est difficile mais aussi nécessaire de l'expliquer simplement aux utilisateurs. Se contenter d'en afficher la valeur sur un écran ne permet pas d'atteindre cet objectif. En outre, le DAS est directement proportionnel à la puissance émise. Or celle-ci n'est pas constante dans le temps : elle varie quand l'utilisateur de mobile se déplace mais, même lorsqu'il ne se déplace pas elle varie en cours d'écoute. Il existe un système de « *hand over* » qui permet de vérifier que l'utilisateur est connecté à la bonne cellule. Il se produit un balayage avec une montée à la puissance maximale et une descente à la puissance minimale. La valeur réelle de l'exposition varie donc au cours du temps.

Remarque technique : L'inconvénient technique majeur est que la valeur de DAS change selon que le téléphone est en position sur l'oreille ou que vous le tenez dans la main. Donc pour voir le DAS qui est affiché vous n'êtes plus dans les mêmes conditions que lorsque vous écoutez. Il serait donc possible d'afficher un DAS calculé à partir de la puissance d'émission nécessaire pour atteindre la base à condition de normaliser la façon de tenir le téléphone mobile dans la main. Le couplage main/téléphone modifie la puissance d'émission du téléphone avec des variations de 1 à 10.

R : Les normes sur les méthodes de mesure du DAS vont utiliser à la fois un fantôme avec une certaine géométrie, un liquide d'indice choisi en fonction de la fréquence d'utilisation, des positions du téléphone par rapport à la tête les mesures étant effectuées à puissance maximum.

Q : Une solution possible serait que la valeur de DAS affichée à l'écran corresponde au DAS mesuré, par exemple, trois secondes auparavant, non au DAS instantané.

R : Cela me paraît compliqué pour obtenir *in fine* un résultat peu fiable. Actuellement, les normes prévoient des valeurs seuils qui prennent en compte des facteurs de sécurité. Quand les valeurs de DAS sont en dessous de la valeur déterminée, il n'existe pas de différence en termes de sécurité entre des utilisateurs ayant un DAS de 0,1 ou 2 W/Kg. Les industriels que je représente ne sont pas opposés à la publication des valeurs de DAS et, ce, à condition que cela soit fait sous une forme lisible et compréhensible pour le public, et seulement une fois que les normes américaines et européennes seront harmonisées, ce qui permettra de délivrer une information fiable et homogène. Quant à afficher les valeurs de DAS instantané en permanence sur le mobile, cela me paraît difficile.

Remarque technique : Par conséquent, l'affichage du DAS est techniquement possible mais la valeur affichée ne pourra être plus précise que l'affichage des barrettes de niveau qui existe déjà sur les écrans. La population utilise souvent le téléphone en accrochant les doigts dans l'antenne ce qui fait varier la valeur du DAS. Ce qui compte, c'est le DAS mesuré en laboratoire et la puissance moyenne émise par le téléphone pendant une certaine durée.

Q : L'affichage du DAS sur l'écran du téléphone mobile serait une information utile pour l'utilisateur car elle lui permettrait de modifier sa pratique de la conversation s'il sait par ailleurs que les niveaux d'exposition dépendent des conditions d'usage.

R : Les notices donnent déjà diverses informations et recommandent par exemple de ne pas tenir un téléphone mobile par l'antenne. Mesurer les valeurs de DAS dans toutes les conditions me paraît infaisable techniquement. On pourrait éventuellement imaginer de communiquer une information à caractère dosimétrique sur la puissance moyenne émise en indiquant que la valeur du DAS est reliée à cette valeur.

Q : Certains téléphones donnent un DAS maximum de 1,5 W/kg, d'autres de 0,2 W/kg. A la lecture de ces valeurs, il semble que les DAS les plus faibles sont obtenus pour les téléphones les plus performants du point de vue de la technologie, du coût, de la qualité... Est-il possible de normaliser tous les téléphones pour des qualités d'émission comparables ?

R : Au plan technique, on pourrait imaginer de définir un "facteur de qualité" prenant en compte de façon couplée, l'efficacité de l'émission du téléphone et la valeur maximum de DAS. Un téléphone qui a une efficacité extrêmement faible (ce qui n'est évidemment pas bon en termes de qualité d'émission) a probablement des valeurs maximum de DAS (la valeur affichée dans la norme) extrêmement faibles. Il n'est donc pas exact de dire que les DAS maximum les plus faibles sont systématiquement obtenus pour les téléphones les plus performants. Il est tout à fait exact de dire qu'un paramètre important est l'efficacité du téléphone et qu'une relation existe avec la valeur du DAS maximum. Personnellement, trois éléments me semblent importants :

- la technologie qui doit viser à minimiser la valeur du DAS maximum (le *design* du téléphone est un paramètre important, qui permet par exemple dans certains cas de s'éloigner le téléphone de la tête, ce qui est un élément favorable) ;
- la puissance (l'efficacité du téléphone). C'est un compromis efficacité/valeur maximum de DAS qui doit être optimisé ;
- les caractéristiques du réseau (à l'heure actuelle on fonctionne sur une base à 33 dBm, avec un fonctionnement à 30 dBm, le DAS maximum serait divisé par deux).

## **Audition d'Yvette SEGALA**

### **représentant l'Association européenne de défense**

#### **contre les effets des champs électromagnétiques**

*Il avait été indiqué au groupe d'experts que Madame Ségala serait accompagnée de Monsieur Le Ruz, Conseiller de l'ADECEM, qui n'a pu se libérer.*

#### **I. Réponses aux questions posées par écrit**

1. Quels sont les principaux moyens d'information dont vous disposez sur les possibles risques pour la santé liés aux CEM-RF ? Faites-vous confiance aux auteurs des rapports internationaux récents ? Comment pensez-vous qu'on peut améliorer l'information du public ?

##### **a. Principaux moyens d'information**

L'Association dispose de divers moyens d'information sur les possibles risques pour la santé liés aux CEM-RF :

- les sociétés savantes (EBEA, BEMS, SFRP, OTA, INRS, ABPE, ANTIGAUSS, TESLABEL...);
- des commissions du Conseil de l'Europe et du Parlement européen ;
- l'OMS et le BIT (Bureau International du Travail) ;
- le comité des experts européens indépendants de Strasbourg ;
- des revues scientifiques telles que « Sciences et Avenir » ;
- des colloques se tenant à l'Assemblée nationale et à l'étranger ;
- le groupe parlementaire d'Etude Santé Environnement ;
- la Sous-direction de la veille sanitaire du ministère de la Santé.

##### **b. Rapports internationaux et amélioration de l'information du public**

L'Association fait peu confiance aux auteurs des rapports internationaux récents en raison de leur collusion avec les lobbies et des incohérences entre leurs rapports et les informations apportées par d'autres sources. Afin d'améliorer l'information du public, l'Association est favorable à la participation d'experts compétents et indépendants des lobbies à des commissions d'étude des risques pour la santé liés aux CEM-RF.

## **2. Quels effets ont été portés à votre connaissance par des personnes déclarant des symptômes en lien avec l'exposition aux CEM-RF, et plus spécifiquement des téléphones mobiles ?**

Nous avons diffusé une pétition sur les champs électromagnétiques qui a permis de constater trois éléments :

- des effets thermiques ;
- des effets spécifiques de nature neurologique et endocrinologique ;
- une augmentation du nombre des personnes hypersensibles aux champs électromagnétiques en Europe.

En revanche, cette pétition ne portait pas sur les téléphones mobiles et l'Association ne s'est pas encore exprimée sur cette question bien qu'elle reçoive des plaintes d'utilisateurs de mobiles.

## **3. Quelles sont les mesures que vous préconisez au sujet de l'utilisation des téléphones mobiles et de l'implantation de leurs stations de base ? Quelles sont les raisons qui motivent ces demandes ?**

Nous préconisons trois types de mesures :

- le respect des recommandations indiquées par les préfets se référant à la circulaire de la Direction générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction (DGHUC/QC/9 N° 99-31) et à la correspondance de la Direction générale de la Santé (DGS/VS3 N° 187)<sup>39</sup> • le respect des valeurs limites d'exposition CEM du public proposées à la Commission européenne et au Parlement européen, soit de 1 V/m, de 400 KHz à 300 GHz ;
- la prise en compte des riverains appareillés avec des implants passifs et actifs d'une part, et des riverains hypersensibles à l'électricité d'autre part.

Ces demandes sont motivées par l'importance numérique des procès en cours et par les révélations de la presse.

## **6- Discussion avec les membres du groupe d'experts**

Q : Avez-vous des témoignages de personnes hypersensibles à l'électricité ?

R : Effectivement. Certaines personnes sont très sensibles à l'électricité en raison de la proximité de lignes à haute tension ou du travail sur ordinateur. Cette sensibilité se manifeste par des maux de tête, des troubles visuels et auditifs, des vertiges. Nous commençons également à recevoir des plaintes de personnes résidant à proximité de relais et se plaignant de troubles liés aux téléphones mobiles et aux stations de base .

Q : Il existe actuellement des milliers de stations de base dans notre environnement, de sorte que la population entière est exposée. Vous semblez indiquer que certaines personnes sont plus exposées que d'autres ou peuvent subir plus de troubles que d'autres alors que, à peu près tout le monde, aujourd'hui, est exposé.

R : Cela dépend peut-être de l'exposition ou de la distance de cette exposition et du degré de sensibilité des personnes.

Q : Quelle est la fréquence ou l'importance des plaintes ? Combien de personnes cela représente-t-il pour les lignes électriques et les ordinateurs ?

R : La fréquence des plaintes est variable selon les semaines, je ne dispose pas de chiffres mais toutes ces personnes présentent des symptômes communs.

Q : Combien de membres votre Association comprend-elle ?

R : En fait, beaucoup de personnes s'adressent à l'Association sans pour autant demander l'adhésion.

Q : Sur quels fondements vous appuyez-vous dans les réponses et conseils que vous adressez aux plaignants (pour attribuer telle cause à tel symptôme) ?

---

<sup>39</sup> Note technique : La correspondance de la DGS attirait l'attention de la DGHUC sur la mise en service d'antennes relais sur les balcons de certains immeubles HLM, dans des lieux directement accessibles au public, notamment aux porteurs de pacemakers, alors que la Commission européenne préparait une recommandation fixant des valeurs limites d'exposition pour le public. La circulaire de la DGHUC a repris les termes de cette correspondance pour la diffuser aux organismes HLM.

R : D'une part, nous faisons appel au jugement des médecins et scientifiques. D'autre part, les plaignants eux-mêmes essaient de comprendre l'origine de leurs symptômes en réfléchissant notamment sur leurs pratiques (contact avec des appareils électriques, travail quotidien sur ordinateur...) ou en découvrant qu'il existe un relais à proximité de leur domicile.

Remarque technique : Par l'intermédiaire du réseau de consultation de pathologies professionnelles de l'INRS, R. de SEZE signale qu'il reçoit des questions de ce type et ré-adresse les plaignants à l'ADECEM pour essayer de définir les causes de leurs symptômes.

Q : Au sommet de la Tour Eiffel, est implantée une antenne d'une puissance de 6 MW, soit l'équivalent de dix fois toutes les stations de base française. Avez-vous des plaintes d'habitants du quartier concernant des troubles liés à cette antenne ? Par ailleurs, il existe sur Paris une quarantaine de radio FM. Le niveau de radio FM est le niveau de champ électromagnétique le plus élevé sur Paris, il précède la télévision et le GSM qui présentent des niveaux similaires. Avez-vous une localisation des plaintes autour de ces stations FM ?

R : Nous avons quelques cas, mais notre Association n'est pas la seule à recevoir des plaintes.

Q : En raison du déficit actuel d'information crédible, quel type d'organisme devrait selon vous rendre accessible une information fiable (préfecture, mairie, DDASS, information téléphonique) ?

R : La préfecture et les mairies devraient veiller à ce que les relais soient implantés dans des zones qui ne posent pas de problème pour les habitants.

Q : Les stations sont néanmoins conçues pour être installées à proximité des utilisateurs.

R : Certes, mais elles ne devraient pas être installées près des écoles par exemple.

Q : Pourtant, d'après le rapport britannique Stewart paru en mai 2000, l'implantation d'une station de base au-dessus d'une école permet paradoxalement de diminuer le niveau de rayonnement dans l'école.

R : Je ne suis pas une scientifique, je ne suis pas assez qualifiée pour répondre à ce type de questions. Il est regrettable que Monsieur Le Ruz n'ait pu se joindre à moi aujourd'hui, il vous aurait apporté un avis plus éclairé.

Q : Comment trouvez-vous les experts indépendants dont vous avez besoin pour l'Association ?

R : Nous contactons l'ABPE par exemple. Nous nous informons également auprès de la Commission Européenne et sommes en contact avec des associations étrangères, suédoises notamment. Toutes les associations disposent d'un conseil scientifique.

Q : Chacun ne disposant de qualifications techniques, il est nécessaire de permettre à la population d'avoir accès à une information crédible et fondée. C'est pourquoi nous souhaiterions savoir quel type d'organisme ou de circuit permettrait de fournir une information crédible en la matière, selon vous.

R : Il existe des lois et textes réglementaires en matière de santé.

Q : Vous considérez donc la publication par le ministère de la Santé de textes réglementaire comme une base solide et suffisante, à partir du moment où elle est respectée. Selon vous, le public aura confiance en cette information ?

R : Je souhaiterais que des experts, indépendants du ministère, apportent également un avis afin d'échanger des idées.

Q : Un résultat affiché peut en effet être interprété différemment selon les personnes. Il est donc important qu'il soit compris par tout le monde de la même façon pour avoir confiance dans une mesure. Que faut-il faire pour que vos adhérents aient confiance dans une mesure ?

R : Nos adhérents ne se posent pas toutes ces questions, ils font confiance aux mesures communiquées.

## **Audition d'Elisabeth CARDIS**

### **Centre International de Recherche contre le Cancer (Organisation Mondiale de la Santé)**

#### **IX- Que pensez-vous des études épidémiologiques déjà menées ?**

Les études menées s'intéressent à différentes sources d'exposition aux radiofréquences : téléphones mobiles, exposition professionnelle, exposition résidentielle. Leurs résultats sont contradictoires. Les

études de cohorte en milieu professionnel sont celles pour lesquelles nous disposons du plus de recul. Or, les résultats ne sont pas cohérents d'une étude à l'autre : certaines constatent une augmentation de cas de leucémie et de cancers du cerveau, d'autres aboutissent au résultat contraire.

### **O- Etude sur l'exposition en milieu professionnel et les tumeurs cérébrales**

Trois études rapportent une augmentation de risque de tumeurs cérébrales :

L'étude de Szmigielski (1996) en Pologne montre systématiquement des augmentations de risque de cancer mais elle est très difficile à interpréter car les méthodes ne sont pas claires.

L'étude de Grayson (1996) est une étude cas-témoins à l'intérieur d'une cohorte aux Etats-Unis; les personnes ont été interrogées par questionnaire. 230 cas et 920 témoins ont été inclus au sein de l'Air Force américaine. L'étude montre un risque relatif de cancer du cerveau de 1,4 pour ceux qui ont été exposés aux radiofréquences, mais aucune relation avec le niveau d'exposition.

L'étude de Thomas (1987) est aussi de type cas-témoins ; elle comprend 435 cas et 386 témoins et s'appuie sur une matrice emploi/exposition. Le risque relatif de cancer du cerveau est de 1,6. Une analyse plus détaillée révèle toutefois que cette augmentation du risque est seulement présente chez les travailleurs qui, en plus de l'exposition aux micro-ondes, travaillaient dans le domaine de l'industrie électrique et électronique et que le risque de cancer du cerveau est augmenté chez ceux qui ont travaillé dans cette industrie, qu'ils aient ou non été exposés aux micro-ondes.

A partir des études cas-témoins et de cohorte il est donc difficile de conclure à une augmentation du risque de tumeur cérébrale ou de leucémie en milieu professionnel. Néanmoins, la plupart de ces études souffrent de problèmes méthodologiques et en particulier aucune n'a vraiment une bonne caractérisation individuelle du niveau d'exposition.

### **b. Etudes sur les expositions en milieu environnemental et risques de leucémie et de cancer du cerveau**

Ces études s'intéressent par exemple aux risques de tumeurs autour de stations de transmission radio, télévision etc. La plupart ne montre aucune augmentation du risque, et les niveaux d'exposition n'étaient pas très élevés.

### **c. Etudes épidémiologiques sur les utilisateurs de mobiles et les risques de cancer**

Ces études sont récentes étant donné que les mobiles eux-mêmes sont apparus récemment. Or, il est nécessaire de disposer d'un délai suffisamment long pour qu'une tumeur éventuellement induite par les radiofréquences émises par les mobiles puisse se développer et être observée.

L'étude de Hardell et al. (1999) sur les risques de cancer du cerveau porte sur 233 tumeurs du cerveau. Les résultats révèlent deux éléments :

- aucune augmentation de risque de cancer chez les utilisateurs de mobiles (risque relatif de 0,98), par rapport aux témoins ;
- un excès de risque non-significatif de 2,5, sur la base de 13 cas de tumeurs, dont trois bénignes, localisées dans des lobes proches de l'antenne du côté de la tête où la personne tenait son téléphone.

Néanmoins, il est difficile de conclure en raison des problèmes méthodologiques de cette étude : elle est basée sur un faible nombre de cas et uniquement sur des cas toujours en vie de six mois à un an après leur diagnostic, de sorte qu'une grande proportion de tumeurs éligibles n'a pas été incluse dans l'étude.

L'étude de Muscat et al. (non encore publiée mais figurant dans le récent rapport de l'Académie des Sciences)<sup>40</sup> sur les risques de cancer du cerveau porte sur 450 cas de tumeur du cerveau aux Etats-Unis. Elle parvient à deux conclusions :

- aucune augmentation de risque chez les utilisateurs de mobiles ;
- faible augmentation pour un type particulier de cancer.

Contrairement aux conclusions de l'étude de Hardell, cette étude ne décèle pas d'augmentation des tumeurs situées dans le lobe proche de l'antenne.

Toutefois, cette étude présente également des limites. Elle comprend encore trop peu de cas. En outre, le mobile est un phénomène moins répandu aux Etats-Unis qu'en Europe. Enfin, l'étude a été menée

---

<sup>40</sup> Cette étude a été publiée depuis dans le JAMA fin décembre 2000 et est présentée parmi les articles récents (cf chapitre IV-E)

trop tôt sachant que les cas ont été recrutés entre 1994 et 1998, période durant laquelle la proportion d'utilisateurs de mobiles dans la population globale était relativement faible. Le fait que cette étude ne note pas d'augmentation ne signifie donc pas pour autant qu'il n'existe pas de risque.

L'étude de Dreyer et al. (1999) sur les risques de cancer porte sur une cohorte de 285 000 abonnés aux Etats-Unis (mobiles analogiques et téléphones fixes de voiture). Deux décès par tumeur du cerveau et quatre décès par leucémie ont été décelés, ce qui conduit à des SMR très faibles. Il est difficile de conclure car le suivi des cas est trop court (un an seulement) et le nombre de cas est trop faible.

L'étude de Morgan et al. (2000) sur les employés de Motorola s'intéresse à tous les appareils de communication mobile, pas uniquement aux mobiles. Elle porte sur une cohorte de 196 000 employés de Motorola suivis de 1976 à 1996. Elle définit trois niveaux d'exposition en fonction du type de travail effectué par les personnes étudiées, mais elle ne comprend pas de détermination individuelle de l'exposition. Globalement, elle constate à la fois un déficit de décès par rapport à la population générale, aussi bien pour tous les cancers que pour la leucémie ou les tumeurs cérébrales, et une absence de relation dose-effet.

Une analyse plus détaillée révèle que parmi ces 196 000 personnes, peu d'entre elles sont exposées (17 000 personnes exposées fortement ou modérément), avec seulement 17 tumeurs cérébrales (dont trois chez les personnes fortement exposées) et 21 leucémies (dont 5 chez les personnes fortement exposées).

En conclusion, actuellement, du point de vue des études sur les utilisateurs d'appareils de communication mobile émettant des radiofréquences, il est trop tôt pour conclure quoi que ce soit.

## **II Discussion avec les membres du groupe d'experts**

Q : Sur quel fondement scientifique repose le regroupement des tumeurs bénignes et malignes dans l'étude cas-témoins de Hardell ? En outre, il est vrai qu'il est trop tôt pour voir des effets. Cependant, selon Muscat, les hypothèses sur les processus de cancérogenèse iraient vers un rôle promoteur et non initiateur, si bien que dans ces conditions les délais en jeu sont plus courts que s'il s'agissait d'un initiateur. Est-ce un paramètre à prendre en compte ?

R : Les deux questions sont liées. On pense que si les radiofréquences ont des effets, ceux-ci se produisent dans la promotion ou progression de la tumeur, à savoir l'augmentation de la division cellulaire etc. qui peut se manifester aussi bien dans des tumeurs bénignes que malignes. C'est pourquoi il est important de s'intéresser aux deux types de tumeur. Je pense néanmoins que dans l'étude du CIRC, nous ferons des conclusions séparées pour les deux types de tumeur. L'étude de Hardell comprend des effectifs tellement faibles qu'il a été nécessaire de combiner les deux types de tumeur.

Q : Le texte de Hansson-Mild sur l'étude de Hardell souligne que sur les 13 cas de tumeur, 9 étaient exposés au téléphone NMT, 3 à la fois aux téléphones NMT et GSM et un seul au téléphone GSM. Le type de téléphone utilisé vous paraît-il donc discriminant ?

R : Les NMT sont des téléphones analogiques qui étaient en situation de monopole jusqu'en 1992 puis des téléphones numériques se sont développés. Par conséquent, les résultats reflètent les délais entre les expositions. Ainsi aux Etats-Unis, contrairement à la France, rapportée à la population générale, la proportion de personnes ayant utilisé le NMT est supérieure à celle ayant utilisé le GSM.

Q : Que peut-on dire sur l'hypersensibilité de certaines populations ?

R : Selon Hansson-Mild, certains symptômes semblent être liés au temps d'utilisation. Il s'agit de résultats intéressants, mais d'une seule étude. Je reçois quant à moi de nombreux témoignages de personnes se plaignant de maux de tête, de nausées, d'échauffement de l'oreille, mais ce n'est pas mon domaine et il m'est difficile d'interpréter ces observations.

X- En quoi les données scientifiques actuelles relatives au risque de cancer associé aux CEM-RF justifient-elles l'engagement de l'importante étude du CIRC ? Quel est le calendrier ?

A partir des études menées en milieu professionnel, nous ne pouvons pas conclure qu'il n'existe pas d'effet. Toutefois, s'ils existaient, ces effets seraient faibles au niveau d'exposition qui nous intéresse pour les utilisateurs de mobiles. Cela étant, un risque faible au niveau individuel pourrait signifier néanmoins un nombre important de cancers dans le monde étant donné le développement exponentiel des mobiles .

Q : Dans vos critères d'appréciation sur le caractère cancérigène des RF, vous avez pris en compte les travaux expérimentaux qui pourraient appuyer l'hypothèse que des effets peuvent se produire. Quels sont ceux qui confortent votre hypothèse ?

R : Il est également difficile de conclure à partir des travaux expérimentaux. Le seul risque est probablement un risque de promotion ou de progression. Si c'est le cas, la période de latence peut être courte, de l'ordre de cinq ans, de sorte que nous devrions disposer du recul nécessaire pour le voir dans le cadre d'études épidémiologiques démarrant actuellement.

Q : Le CIRC engage une étude internationale importante dont les résultats seront disponibles dans trois ou quatre ans.

R : Nous ne disposons pas encore du financement complet. Nous avons un financement partiel de la Commission européenne, des financements nationaux, et nous recherchons des financements complémentaires auprès d'industriels. Ces derniers sont notamment en discussion avec l'Union Internationale Contre le Cancer depuis un an. L'UICC pourrait s'occuper de la gestion des fonds apportés par les industriels mais nous n'avons pas encore obtenu de contrat acceptable qui garantisse l'indépendance de nos travaux. Si dans les prochains mois nous parvenons à trouver le financement complémentaire, nous devrions obtenir les résultats des premières études nationales en 2003, puis les résultats finaux internationaux en 2004.

Q : Notre groupe d'experts doit faire des recommandations sur les modes de financement de la recherche dans le domaine des champs électromagnétiques ; pourquoi rencontrez-vous des difficultés à établir des bases de financement claires avec les industriels ?

R : Les contrats que proposent les industriels contiennent diverses conditions : possibilité d'arrêter le financement de l'étude si les travaux ne sont pas effectués correctement, nomination des membres des comités scientifiques qui revoient les travaux, révision des textes 60 jours avant leur publication... Or, selon notre protocole international les résultats sont confidentiels jusqu'à leur publication, seule une copie de l'article peut être envoyée de manière confidentielle - avec l'accord du journal qui publie - au maximum une semaine avant sa publication.

Q : Comment s'effectuera la mise en phase de la publication des résultats définitifs de cette étude avec l'évaluation par le CIRC du cancer et des radiofréquences, qui reposera sur l'ensemble des données disponibles ?

R : La date d'évaluation des monographies est fixée à 2003. Mais d'ici un ou deux ans, nous allons revoir l'état des connaissances scientifiques et décider s'il est trop tôt pour effectuer une telle évaluation. L'étude Interphone est indépendante des monographies. Ces dernières sont réalisées par une autre unité du CIRC.

Q : Existe-t-il d'autres études en cours sur le même sujet ?

R : Il existe une étude cas-témoins du National Cancer Institute aux Etats-Unis qui porte sur 800 cas et 800 témoins diagnostiqués entre 1994 et 1998, à une époque où le pourcentage d'utilisateurs de mobiles était relativement faible et où seuls les téléphones analogiques étaient utilisés<sup>41</sup>. Deux études de cohortes d'utilisateurs ont également été menées en Finlande et au Danemark.

Nous voulions inclure la leucémie dans l'étude Interphone mais nous n'avons pas encore de financement pour le faire. Des études leucémie indépendantes seront peut être menées. En effet, les rayonnements ionisants, voire les très faibles fréquences, étant considérés comme facteur de leucémie, c'est par analogie que certains chercheurs pensent que les radiofréquences pourraient également être facteurs de leucémie puisque la moelle osseuse du crâne est exposée aux radiofréquences lors de l'utilisation de téléphones mobiles..

Q : Comment allez-vous procéder pour combiner les données des questionnaires et les résultats de la dosimétrie effective ?

R : Dans l'étude de faisabilité, nous avons essayé d'identifier les facteurs déterminants pour le niveau d'exposition (le nombre d'appels, la durée de l'appel, l'utilisation du contrôle de puissance...). Nous commençons un processus de quantification et développons une sorte d'indice d'exposition.

Q : Existe-t-il des études en cours s'intéressant à d'autres pathologies que le cancer liées à l'utilisation des téléphones mobiles (les céphalées par exemple) ?

R : C'est un domaine que je ne suis pas beaucoup, je ne sais pas.

---

<sup>41</sup> Cette étude de Inskip et coll. vient également d'être publiée dans le New England of Medicine et est présentée par ailleurs (cf articles récents)

XI- Dans l'attente des résultats de cette étude, l'état des connaissances justifie-t-il l'adoption de mesures visant à réduire l'exposition aux CEM-RF en deçà des niveaux actuellement autorisés (ICNIRP, UE) ?

Les niveaux d'exposition dus aux mobiles et aux stations relais sont plus faibles que les normes actuelles. La plupart du temps, les mobiles émettent à moins de 5 % de leur maximum de puissance, les émissions sont donc plus faibles que les niveaux établis par les normes. En l'absence de certitude sur les effets, il faut adopter un certain principe de précaution mais il est difficile de savoir sur quoi se baser pour le faire. Par exemple, il est recommandé de minimiser l'utilisation de mobiles par les populations plus sensibles telles que les enfants. En la matière, le principe de précaution est basé sur une analogie avec le risque encouru par les enfants exposés à d'autres facteurs que les mobiles : les enfants sont plus sensibles pour nombre d'expositions (produits chimiques, rayonnements ionisants...).

Q : Les représentants des acteurs industriels s'appuient sur l'avis de l'OMS relatif au principe de précaution et l'interprètent parfois de la manière suivante : « Si nous respectons la réglementation fondée sur des données scientifiques établies, il n'est pas nécessaire de modifier notre position ». L'OMS aurait elle voulu dire que seules les données scientifiques parfaitement établies sont des bases sur lesquelles on élabore des réglementations et qu'il n'y aurait pas de raison d'adopter un principe de précaution ?

R : Cela m'étonne que l'OMS émette un jugement si catégorique.

## Audition de Jean-Pierre CHEVILLOT

### 7- Réponse aux questions écrites

1. Les données scientifiques actuelles relatives aux possibles effets sanitaires des CEM-RF justifient-elles une révision du dispositif européen de limitation de l'exposition du public aux CEM-RF ?

La réponse à cette question se fonde sur un rapport publié en mai 2000, en langue anglaise, intitulé « *Physiological and environmental effects of electromagnetic radiation* », par Messieurs Jean-Pierre Chevillot, Jean-Pierre Husson et Philippe de Montgolfier, dans le cadre des activités de la Société Essor-Europe.

#### **P- Méthodologie du rapport.**

Initialement destiné à une lecture politique, ce rapport a suivi délibérément une approche didactique. Afin de permettre à des personnalités non spécialisées de comprendre les principaux éléments du sujet et de se faire une opinion objective sur les questions posées, ce rapport a cherché à permettre de se repérer parmi des informations disponibles en très grand nombre, touchant des approches et des domaines scientifiques et techniques très divers, et de valeurs très inégales.

D'une part, on a présenté une analyse comparative et synthétique des résultats, en fonction des domaines de fréquences et en fonction des phénomènes biomédicaux en jeu dans l'interaction d'un être humain avec son environnement électromagnétique.

D'autre part on s'est entouré de solides garanties quant à la validité scientifique des résultats pris en considération. Une attention particulière a été apportée dans l'exposé des *sources* d'informations utilisées et des *critères* retenus, dans la présentation des *résultats*, en distinguant explicitement ceux qui ont été validés de ceux qui prêtent encore à discussions et/ou pour lesquels les répliques entreprises ne sont pas terminées, en écartant les résultats qui n'ont pas fait l'objet d'une discussion par la communauté scientifique internationale. On s'est fondé pour cela sur les organisations reconnues.

Le rapport comporte deux parties principales. La première expose les principaux sujets qui ressortent de l'étude ainsi que des éléments de conclusion et de recommandations à l'intention des parlementaires européens. La seconde présente les arguments à l'appui de la première. Une dernière partie très sommaire concerne les éléments de base en électromagnétisme et en biologie.

## **Q- Principales options et recommandations**

### ***PRINCIPALES OPTIONS SCIENTIFIQUES***

- ◆ compléter les études épidémiologiques - qui ne prouvent ni l'absence ni l'existence de risque - par des études cliniques de cas symptomatiques afin de disposer de meilleures bases d'interprétation des résultats ;
- ◆ porter une attention particulière aux sous-populations plus fragiles, notamment les enfants, les personnes âgées et les personnes sous traitements médicaux ;
- ◆ rechercher des raisons possibles, tant physiologiques que psychologiques, à une sensibilité particulière de certaines personnes aux champs électromagnétiques ;
- ◆ remédier au déficit des connaissances de base sur les mécanismes d'interactions en jeu lors de l'exposition d'un être humain à un environnement électromagnétique de plus en plus prégnant ;
- ◆ continuer à soutenir au plan européen les recherches interdisciplinaires, ainsi que la coordination des activités des différentes équipes travaillant en Europe sur les effets biomédicaux des champs électromagnétiques qu'assure l'action COST 244 d'une manière très satisfaisante.

### ***PRINCIPALES OPTIONS ET RECOMMANDATIONS POLITIQUES***

- ◆ Les résultats de recherche actuels ne mettent pas en évidence une probabilité de risque qui justifierait une modification des valeurs de l'ICNIRP sur lesquelles sont basées les recommandations du Conseil de l'Union européenne de juillet 1999 et les réglementations d'une majorité de pays européens. En revanche, il serait utile de transformer cette recommandation en directive afin de supprimer les disparités existant entre les réglementations des pays européens. En effet, ces disparités suscitent au plan social des inquiétudes dans la population et, au plan économique, des difficultés chez les constructeurs et opérateurs industriels concernés.
- ◆ Le principe de précaution tel qu'il est présenté, notamment par la Commission européenne, n'apparaît pas susceptible d'apporter une réponse réelle aux questions posées dans ce domaine faute d'un risque avéré. Il serait donc utile de l'assortir d'un principe de vigilance fondé sur une attention documentée et responsable des personnes à leur environnement électromagnétique (le terme employé dans le rapport est celui de « *educated and responsible awareness* »), permettant la mise en œuvre d'une politique de prévention raisonnable contre des risques éventuels en cette matière. Dans ce contexte, les efforts d'information et d'éducation de l'opinion publique doivent être intensifiés afin de permettre à la population de se faire une idée objective des problèmes évoqués.
- ◆ Il devrait être possible d'effectuer une évaluation technique qualifiée de l'environnement électromagnétique domestique et professionnel lorsque des personnes le demandent. En outre, les paramètres d'exposition des usagers aux champs électromagnétiques lors de l'utilisation des appareils domestiques et professionnels qui en émettent devraient être indiqués par les fabricants. Enfin, une cartographie des zones exposées aux champs électromagnétiques que génèrent les grandes installations devrait être effectuée et rendue accessible au public.
- ◆ Pareillement, compte tenu de la technicité croissante de la problématique des champs électromagnétiques au plan socio-économique, il serait intéressant de procéder à une enquête de type Delphi au plan européen pour y créer les conditions d'un dialogue constructif et permanent entre le public, les industriels, les scientifiques, les pouvoirs publics concernés et les media sur les sujets en cause.

## **XII- Quelle est la tendance actuelle des mesures réglementaires adoptées par les Etats membres de l'UE et par leurs voisins, concernant l'exposition du public aux CEM-RF ?**

Malgré la recommandation adoptée par le Conseil en juillet 1999, les normes d'exposition aux champs électromagnétiques ne sont pas harmonisées entre les différents pays européens. Le rapport détaille les

cas particuliers de l'Italie et de la Suisse. S'agissant de l'ensemble des pays, ils peuvent être répartis actuellement en six catégories :

- Les pays suivant les normes de l'ICNIRP et les recommandations du Conseil. Cette catégorie inclut l'Autriche, l'Allemagne, la France, l'Irlande, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la Suède.
- La région suivant l'ICNIRP mais préparant de nouvelles réglementations dans le sens d'un durcissement. La région wallonne en Belgique prépare une norme à 3 V/m.
- Les pays ne suivant pas l'ICNIRP et ayant des réglementations plus sévères. L'Italie avec 6 V/m (mais 20 V/m dans les lieux où les personnes ne séjournent pas plus de 4 h/j). En Suisse, il est prévu 4 V/m pour les stations émettant à 900 MHz, 6 V/m pour les stations émettant à 1 800 MHz et au-dessus ; 5 V/m pour les stations émettant dans les deux bandes.
- Le pays ne suivant pas l'ICNIRP et ayant des réglementations moins sévères. Il s'agit de la Grande-Bretagne avec un DAS de 0,4 W/kg, soit une densité de puissance de 26-33 W/m<sup>2</sup> pour 800-1 000 MHz et 100 W/m<sup>2</sup> pour 1 800-1 900 MHz.
- Le pays ne suivant pas l'ICNIRP et n'ayant pas de réglementation. Il s'agit de la Grèce.
- Les pays n'ayant pas encore pris position. Cette catégorie rassemble le Danemark, l'Espagne, la Finlande et le Luxembourg.

### **8- Discussion avec les membres du groupe d'experts**

Q : Le texte de l'Union européenne sur le principe de précaution, de février 2000, s'appuie notamment sur la nécessité de disposer de données scientifiques, et sur les principes de proportionnalité et de cohérence (des mesures de même ordre doivent être mises en œuvre dans des domaines comparables). On constate que dans le cas de la vache folle, le principe de précaution a été adopté de manière très stricte en 1996, avec des conséquences majeures pour le monde agricole, alors que n'existaient pas les connaissances scientifiques dont on dispose aujourd'hui. A côté de cela, dans le domaine des CEM-RF, on demande des faits scientifiques fortement avérés pour modifier une réglementation, qui est aujourd'hui assise sur les seuls effets thermiques. Le principe de cohérence est-il respecté ?

R : Dans le cas des champs électromagnétiques, il ne paraît pas souhaitable de fonder les normes sur des effets supposés ou suspectés. Il n'existe pas de risque avéré pour fonder l'approche du principe de précaution. C'est là une différence notable entre le cas de l'ESB et celui de l'exposition aux CEM tels que ceux émis en téléphonie mobile. La seule invocation du principe de précaution me semble dans ces conditions inappropriée et insuffisante. Il importe davantage à mon sens que la population soit consciente des responsabilités actives qui lui échoient en matière de vigilance, et de lui donner les moyens de les assumer, plutôt que de susciter chez elle des idées fausses en matière de risques et une attitude passive à l'abri d'un principe de précaution sans objet défini. Dans le cas de la téléphonie mobile par exemple, il serait utile que la population soit attentive à l'usage qu'elle en fait, selon ce que notre rapport dénomme le principe d'attention objective et responsable (« *educated and responsible awareness* »), et qu'elle soit notamment vigilante en ce qui concerne le cas particulier des enfants qui deviennent un marché pour les téléphones mobiles, peuvent en user et mésuser.

Q : Existe-il des éléments permettant de mieux comprendre l'avis des personnes autorisées sur les effets biologiques et sanitaires des téléphones mobiles sur les enfants ?

R : A la question "pensez-vous que les enfants puissent être plus vulnérables que les adultes à des risques éventuels ?", les réponses des experts consultés ont été les suivantes :

a) Les industriels très majoritairement ne s'estiment pas qualifiés pour répondre ou ne considèrent pas que la question se pose faute d'effets mis en évidence. L'un dit cependant qu'il n'est pas possible de répondre non. Une réponse industrielle à la question est absolument positive. Une autre estime que la réponse dépend de l'hypothèse que l'on fait, soit qu'on pense que les effets sont trop faibles pour être observés, soit qu'on pense qu'il y a des mécanismes de compensation. Dans ce dernier cas, la réponse est à l'évidence positive.

b) Les scientifiques sont tous affirmatifs quant à la vulnérabilité potentielle des enfants sauf deux. Une réponse affirmative estime aussi que la vulnérabilité de certaines personnes est possible si les effets rapportés sur l'expression des protéines sont vrais.

c) Un scientifique estime que les connaissances relatives à la manière spécifique dont les enfants pourraient interagir avec les CEM font actuellement largement défaut.

d) Un responsable d'institution internationale considère que le cas des enfants doit être pris en considération et invoque des spécificités comme le seuil de perception des courants de contact à 50 Hz qui est plus bas chez les enfants que chez les adultes.

Compte tenu des arguments, souvent contradictoires, rencontrés dans la littérature, le rapport conclue qu'il est nécessaire de se préoccuper spécifiquement du cas des enfants. Il n'a pas estimé être en mesure d'aller plus loin au plan des mesures éventuelles que de recommander de créer les conditions de cette "*educated and responsible awareness*" comme moyen de prévention active.

Q : Votre rapport recommande-t-il de faire des études chez les enfants pour voir s'ils sont particulièrement sensibles du point de vue neurophysiologique ou sur un autre plan ? Pourquoi l'énergie absorbée par le crâne d'un enfant serait-elle plus faible que pour un adulte, pour une exposition identique?

Remarque technique : C'est une question de couplage : l'impédance réalisée par le couple tête/téléphone est moins importante, ce qui signifie qu'il y a plus de diffusion du rayonnement électromagnétique vers l'extérieur que vers la tête du fait de la morphologie globale de la tête de l'enfant.

R : Notre rapport souligne l'importance de remédier à l'insuffisance des connaissances en matière d'interaction de l'être humain avec les CEM. C'est particulièrement le cas des conditions particulières qui caractérisent l'enfant. Il est difficile de conduire des études portant sur des enfants pour des raisons éthiques. Cependant une attention particulière peut leur être portée dans les études épidémiologiques comme cela a été le cas avec les études épidémiologiques portant sur la leucémie de l'enfant. La recherche biomédicale devrait semble-t-il s'efforcer de trouver des moyens d'études spécifiques permettant d'améliorer les connaissances relatives aux conséquences possibles à l'exposition des enfants aux CEM. La question qui n'est pas absolument éclaircie des conséquences à long terme des expositions longues à faible dose rend certes la tâche encore plus ardue.

Q : Avez-vous débattu de la question du principe d'optimisation dans la mesure où la recommandation émise par l'Union européenne en 1999 risque de se transformer en directive ? Ecartez-vous le principe ALARA ? Selon les auditeurs que nous avons reçus ce matin, les objectifs technologiques les conduisent à optimiser et donc à réduire les doses : ils tendent donc à adopter le principe ALARA et ce sans justifications sanitaires.

R : Notre rapport met l'accent sur le principe ERA (« *educated and responsible awareness* »). Il implique l'optimisation de l'environnement électromagnétique à laquelle se réfère notre rapport. Nous avons recueilli des avis divergents sur le principe ALARA : selon certains, il ne serait pas applicable dans le domaine des téléphones mobiles.

Q : En raison du déficit de connaissances de base que vous constatez dans votre rapport, préconisez-vous des recherches fondamentales sur l'animal en croissance ?

R : De telles recherches seraient utiles. Celles qui ont été effectuées jusqu'à maintenant n'ont pas indiqué de résultats différents selon les diverses phases de développement, mais elles n'ont pas été assez nombreuses ni peut-être assez approfondies. D'une manière générale, une amélioration des connaissances sur les mécanismes d'interaction entre un être vivant et les champs électromagnétiques qui l'entourent fournirait des résultats utilisables dans de multiples domaines.

Q : Dans le cas particulier des enfants, nous nous heurtons à un problème éthique. Par conséquent, comment peut-on orienter la recherche (recherche sur l'animal en croissance, recherche sur des cellules en croissance, recherche sur les gonades) ?

R : L'appréciation des solutions à apporter à ce problème de l'orientation éthique des recherche ressort largement de la compétence et de la responsabilité des chercheurs eux-mêmes. Une approche pourrait consister - à partir des connaissances de base sur le développement de l'enfant et sur les interactions avec les champs électromagnétiques - à développer une meilleure capacité d'analyse a priori des effets spécifiques, possibles ou non, à tel ou tel stade de développement.

Q : Il s'agirait donc de mettre l'accent à la fois sur la croissance et les cofacteurs de risque.

R : L'hypothèse évoquée plus haut de mécanismes de compensation assurant une sorte d'homéostasie dans l'organisme vis à vis de paramètres pouvant être sensibles à l'environnement électromagnétique, demanderait à être clarifiée. Une telle éventualité pourrait en effet expliquer que certains résultats observés, notamment en matière d'épidémiologie, soient dus à des déficiences de tels mécanismes chez des fractions infimes de la population. Par ailleurs, s'agissant des cofacteurs de risques, on remarque par exemple que l'hypersensibilité de certaines personnes aux CEM n'est pas tant liée aux CEM eux-

mêmes qu'à la crainte de ces personnes envers les CEM. Il est souhaitable d'étudier les personnes hypersensibles avérées car on trouvera peut-être parmi elles des cas symptomatiques dont l'étude en fonction de paramètres multiples pourrait faire progresser la connaissance d'aspects particuliers. Remarque technique : Il est nécessaire de distinguer le niveau épidémiologique du niveau psychologique et donc de faire la différence entre les personnes qui se prétendent hypersensibles à l'électricité et qui ne le sont pas objectivement et les personnes sensibles à l'électricité parce que les champs constituent dans leur cas un co-facteur dans des pathologies. Certaines personnes sont également sensibles sans le savoir.

### **Audition de Madeleine BASTIDE**

Professeur Emérite, Faculté de Pharmacie de Montpellier

#### **I. Réponse aux questions écrites**

##### **1. Parmi les travaux expérimentaux récents concernant les effets biologiques des CEM-RF (protéines de choc thermique, mortalité des embryons de poulet, accroissement de l'ornithine décarboxylase...), quels sont ceux qui vous paraissent de bons témoins de possibles risques pour la santé des usagers des téléphones mobiles ?**

Les protéines de choc thermique sont liées au stress, elles représentent un système de défense face à une agression. Ces molécules défensives sont simples. Nous avons également effectué des mesures sur les hormones de stress chez la souris.

Les conditions expérimentales de notre test sont particulières : pour raisons financières nous avons travaillé en appel, non en communication, avec un téléphone et une mobicarte, c'est-à-dire sans abonnement. La Faculté nous a procuré une ligne muette avec un numéro d'appel permanent et un système d'appel toutes les trois minutes. Nous nous sommes donc placés dans un cas extrême, en système d'exposition continue (appel sortant): notre téléphone appelait un Numéro avec sonnerie pendant 1 minute puis repos 2 minutes, au total 3 minutes , puis nouvel appel etc...).

Avant d'effectuer un test avec des téléphones, nous avons mené une expérience avec les ordinateurs. Sur les écrans de visualisation, nous avons constaté une modification du rapport CD5/CD20 (lymphocytes B immatures/lymphocytes B mûrs). Nous avons utilisé le modèle des poulets dont nous disposons en laboratoire. Au bout de trois semaines d'incubation, nous avons constaté une mortalité des œufs d'environ 40 %. Nous avons mis les survivants dans une cage devant un écran d'ordinateur, avec un voile noir. Nous avons ensuite procédé au dosage d'anticorps, de corticostérone et de mélatonine. Nous avons alors constaté un effondrement de la mélatonine et une diminution importante de la corticostérone comme des anticorps spécifiques.

Forts de cette expérience, nous avons ensuite gardé le même modèle avec évaluation de la seule mortalité des embryons pour le test avec les téléphones mobiles.

##### **2. Comment faites-vous l'extrapolation de l'embryon de poulet à l'homme ?**

Quels sont les risques pour l'homme que prédiraient les résultats de vos travaux ? A votre avis, votre travail pose-t-il le problème des émissions basse fréquence des téléphones mobiles ?

Tout d'abord, nous avons adopté une approche toxicologique, en effet intense, avec un système d'appel, ce qui n'est pas une condition classique puisque le téléphone est principalement utilisé pour la communication. Néanmoins, avant d'obtenir leur communication, les utilisateurs sont également en situation d'appel bien que pour une durée moindre que celle que nous avons retenue pour notre test.

Nous avons effectué un test de mutagenèse sur des bactéries (test d'AMES ) qui s'est révélé négatif. Un test de mutagenèse positif sur la bactérie suggère une potentialité de mutagenèse chez l'homme. La mortalité des embryons observée dans nos expériences vient plutôt des altérations des séquences

de développement de l'embryon. Par conséquent, l'embryon de poulet connaissant les mêmes séquences de développement que l'embryon humain, l'extrapolation est plus évidente que dans le cas de la bactérie. Le groupe de Jocelyne Leal à Madrid s'est intéressé à d'autres champs en électromagnétiques (champs pulsés de basse fréquence) effectuant des travaux sur 48 heures : ils ont décelé des anomalies (développement anormal, malformations...) sur les deux premiers jours. Pour notre test sur les embryons de poulet, nous n'avons pu analyser les anomalies du développement, pour des raisons financières bien que nous ayons conservé des séries d'embryons fixés au moment de leur mort dans du liquide de fixation pour détecter des anomalies, travail qui peut encore être réalisé. Nous avons donc juste fait de la phénoménologie en comptant les embryons morts. Je pense que leur mort est due à des anomalies de leur développement et à des modifications de leur structure. L'approche toxicologique qui est la nôtre est comparable à celle utilisée dans l'étude des médicaments qui conduit à préconiser une utilisation raisonnée de médicaments ayant des effets toxiques. Dans le cas des téléphones mobiles, nous sommes à mon avis dans une situation de tératogenèse due à un développement anormal de l'embryon. Si, d'après nos résultats, le téléphone mobile est assimilé à un médicament tératogène – « médicament » plus que particulier puisque le téléphone mobile est utilisé par une grande proportion de la population -, il est déconseillé de le confier à des populations à risque ou à des enfants.

## II. Discussion avec les membres du groupe d'experts

Q : Que nous apprennent ces résultats sur le niveau d'exposition ?

R : Il est difficile de répondre à cette question à partir de notre test qui s'est déroulé dans des conditions particulières en système d'appel vers une ligne extérieure sans communication. Il est nécessaire d'étudier ce qui se produit lors d'appels avec communication établie de courte et de longue durées.

Q : Peut-on dire par extrapolation que le risque envisageable pour une femme enceinte portant un téléphone mobile à la ceinture serait une mortalité embryonnaire ?

R : Notre recherche ne portait pas sur ce sujet mais, en tant que modèle expérimental, il permet d'ouvrir des pistes. En outre, j'ai été en contact avec des infirmières portant toujours leur téléphone mobile à la ceinture et qui ont été « victimes » d'avortements spontanés, des modifications cérébrales de l'embryon étant observables, ce qui pouvait représenter des cas particuliers.

Q : Votre modèle expérimental consiste en une multiplicité de séquences d'appel qui ne sont pas représentatives du fonctionnement normal d'un téléphone. Comment est-il possible d'extrapoler à partir d'une situation transitoire vers le problème général du téléphone ?

R : Il est nécessaire de procéder à des expérimentations complémentaires. Notre modèle peut être utilisé dans différents cas de figure. En ce qui concerne nos modalités opératoires, nous avons répété notre expérience plusieurs fois et nous obtenons toujours les mêmes résultats. Nous avons travaillé en parallèle avec un incubateur contenant les mêmes œufs que ceux placés dans la pièce : nous avons toujours obtenu le même taux de mortalité d'embryons exposés comparés aux témoins.

L'augmentation de température due au fonctionnement du téléphone ne peut constituer un biais car la pièce que nous avons utilisée était thermostatée avec quatre sondes placées autour et au milieu du plateau d'œufs et nous n'avons constaté aucune différence significative ( $38 \pm 0,5$  °C).

Monsieur Bouillet de la Société Bouygues-Telecom a accepté de nous aider à répliquer ce travail avec la collaboration de Supélec et avec deux équipes différentes : il s'agit du Laboratoire de Bioélectromagnétisme de Jocelyne Leal à Madrid et de l'INRA de Tours, spécialisé dans les oiseaux.

Q : Vous semblez attribuer les effets à la présence de champs magnétiques de très basse fréquence dans les téléphones. Pourriez-vous apporter des explications plus détaillées ?

R : Comme nous avons obtenu un effet de mortalité par les écrans d'ordinateurs, nous savions qu'il ne s'agissait pas de hautes fréquences (effet micro-ondes). Nous avons arrêté le passage des hautes fréquences émises par le téléphone en plaçant une grille de cuivre de maille de 350 micromètres de diamètre que nous avons reliée à la terre et placée au-dessus des œufs sans les toucher, et au dessus de laquelle nous avons placé le téléphone dans les mêmes conditions que précédemment. Nous avons obtenu la même mortalité que sans la plaque. Nous avons procédé à l'identique avec des souris et avons constaté les mêmes chutes de corticostérone et d'ACTH que nous avons remarquées sans la plaque.

Q : Avez-vous tenté une analyse sur des souris gestantes ?

R : Pas pour l'instant.

Q : Votre conclusion est-elle un risque possible de tératogénèse ?

R : En conclusion, je dirai que j'ai des résultats expérimentaux qui sont répétables prouvant des modifications importantes de la viabilité des embryons de poulets exposés. On ne peut pas dire que le téléphone mobile soit inoffensif. Les ordinateurs me paraissent toutefois plus dangereux que les téléphones cellulaires car les utilisateurs passent plusieurs heures devant leurs écrans et sont à proximité de l'écran entre 50 et 80 cm comme les œufs que nous avons exposés. Cependant, si le sujet passe plusieurs heures devant son ordinateur et avec son téléphone mobile en état de marche, il est possible que se produise un phénomène de synergie et d'aggravation.

## **Audition de Jean-Marie ARAN**

### **Du Laboratoire d'audiologie expérimentale et clinique de l'hôpital Pellegrin, Bordeaux**

#### **I. Réponses aux questions écrites**

##### **1. Pourquoi s'interroger sur des effets éventuels des micro-ondes GSM sur l'audition ?**

Il apparaît nécessaire de s'interroger sur les effets éventuels des micro-ondes GSM sur l'audition pour diverses raisons, la première étant le nombre croissant d'utilisateurs (environ 20 millions en France) et les craintes soulevées sur d'éventuels effets biologiques délétères. En outre, l'oreille est l'organe le plus exposé à ces ondes étant donné que le téléphone mobile dans sa version actuelle est appliqué directement contre l'oreille. De plus, si des effets biologiques généraux sur les tissus sont démontrés, ils doivent se retrouver dans l'oreille interne à niveau d'irradiation identique (ce qui reste à démontrer).

Par ailleurs, l'oreille interne est une structure hautement différenciée, un micro-organe spécifique relativement isolé du reste du corps. Elle présente une sensibilité extrême aux stimulations acoustiques extérieures : le seuil de détection des vibrations se situe à des amplitudes inférieures au nanomètre. La réception des vibrations acoustiques s'effectue par l'intermédiaire de protéines contractiles (la prestine) qui amplifient les vibrations de 40 à 50 dB. L'épithélium sensoriel est très hétérogène et comporte des compartiments liquidiens extra-cellulaires à forte concentration en potassium (l'endolymphe, dans lequel baignent les cils des cellules sensorielles). Il existe une différence de potentiel d'environ 160 mV à l'interface entre les cils des cellules sensorielles et ce liquide dans lequel ils baignent. Les phénomènes électriques associés à la transduction mécano-sensorielle sont de l'ordre de quelques nanovolts. Par conséquent, indépendamment des effets biologiques communs à tous les tissus, on peut s'attendre à des perturbations éventuelles des phénomènes électrochimiques fins propres au fonctionnement de l'oreille, par les ondes électromagnétiques.

Enfin, l'oreille est soumise simultanément aux micro-ondes du téléphone et aux sons produits par celui-ci. Il pourrait se produire une synergie entre les micro-ondes et les sons dans les cellules sensorielles, synergie qui pourrait s'avérer délétère, même si séparément ces deux agents étaient sans nocivité. La sensibilité des cellules sensorielles aux micro-ondes pourrait donc être modifiée lors de leur dépolarisation fonctionnelle.

##### **2. Quels effets pourrait-on attendre d'une exposition de l'oreille aux micro-ondes GSM ?**

Si l'énergie diffusée au niveau de l'oreille interne est suffisante, on pourrait s'attendre tout d'abord à l'apparition d'une sensation auditive associée à la stimulation électromagnétique, ce qui n'est apparemment pas le cas avec les téléphones mobiles. Ainsi, si le téléphone mobile induit le développement d'une onde acoustique dans le crâne, celle-ci est d'intensité inférieure au seuil d'audition, au bruit ambiant, et donc sans aucun risque pour l'oreille. Les ondes électromagnétiques

pourraient également réaliser une stimulation directe - identique à une stimulation électrique - des structures sensorielles et nerveuses de l'oreille interne, hautement sensibles aux phénomènes acoustiques et électriques, et entraîner une sensation auditive, ce qui n'est vraisemblablement pas le cas.

Les autres effets éventuels ne sauraient être spécifiques à l'oreille mais communs aux effets biologiques généraux des micro-ondes GSM.

Q : Voulez-vous dire qu'en l'absence de sensation auditive, il n'y aurait pas d'autres effets étant donné que - selon vous - la première manifestation serait le développement d'une sensation auditive ?

R : L'énergie étant insuffisante pour développer une sensation auditive, elle devrait également être insuffisante pour produire des lésions de l'oreille ou de la rétine par exemple. Le même constat pourrait être effectué pour l'équilibre (les vertiges).

Q : Certaines personnes se plaignent de vertiges à la suite d'une exposition au téléphone mobile.

R : La fonction vestibulaire est plus complexe que la fonction auditive, elle fait intervenir l'oreille mais également la vision, les autres récepteurs somesthésiques et des processus d'intégration au niveau central. Les vertiges sont un phénomène central. L'origine périphérique des vertiges au niveau de l'oreille est difficile à déterminer. Il n'existe pas de test périphérique vraiment spécifique du vestibule chez l'homme.

Q : Certains travaux ont rapporté que les potentiels évoqués auditifs corticaux n'étaient modifiés que lorsque les personnes étaient soumises à une tâche intellectuelle. Cela veut-il dire qu'il peut y avoir des conséquences sur le fonctionnement cérébral ?

R : Si les potentiels sensoriels évoqués autres qu'auditifs (visuels ou somesthésiques) sont également modifiés, on peut penser qu'il s'agit de modifications du fonctionnement du système nerveux central. Si seuls les potentiels auditifs étaient modifiés, il faudrait se poser d'autres questions plus précises. Dans nos expérimentations, nous n'excluons pas la possibilité qu'un effet central s'ajoute aux phénomènes périphériques. Si une modification se produit au niveau des réponses centrales qui font intervenir toute la chaîne de la périphérie jusqu'au centre, nous sommes capables, grâce à différents types de tests (otoémissions acoustiques, électrocochléographie, potentiels évoqués du tronc cérébral), d'en déterminer la localisation centrale ou périphérique.

### 3. Etudes sur des effets spécifiques des micro-ondes GSM sur l'oreille

#### **R- L'étude hongroise chez l'homme (1999)**

Cette étude constate un allongement de la latence du pic V des potentiels évoqués du tronc cérébral lors de la stimulation par clic de l'oreille exposée alors que celle-ci reste normale pour l'oreille non exposée. Cette augmentation de latence correspondrait à une élévation des seuils auditifs sur les hautes fréquences d'environ 15 à 18 dB. Celle-ci est confirmée par des mesures audiométriques effectuées juste après les tests électrophysiologiques, bien que les sujets ne remarquent aucun changement dans leur audition. Il s'agit par ailleurs d'un effet immédiat, l'évolution à long terme n'est pas rapportée. Les auteurs supposent que les cellules sensorielles, qui baignent dans du liquide, sont soumises à un échauffement local ou à des mouvements ioniques transmembranaires induits par les micro-ondes. Cette étude très limitée qui porte sur dix sujets, sans évaluation statistique, demande à être vérifiée. Il serait notamment intéressant de mesurer le premier pic et l'intervalle entre le premier et le cinquième pic pour préciser la source périphérique ou centrale des éventuelles modifications.

#### **S- L'étude de Carmela Marino chez le rat (2000)**

Cette étude décrit bien le système d'exposition, la dosimétrie et les mesures physiologiques. Il s'agit des otoémissions acoustiques (produits de distorsion enregistrés devant le tympan) qui testent les cellules ciliées externes de la cochlée. Ces cellules sont en effet les plus sensibles (elles assurent l'amplification des vibrations à l'intérieur de la cochlée) et les plus fragiles (effets du bruit, ototoxicité). L'ensemble de la tête du rat était exposé. Les expositions portaient sur des DAS de 0,2 et 1 W/kg, trois heures par jour pendant trois jours (0,2 W/kg) et cinq jours (1 W/kg). Aucune différence significative dans les amplitudes des produits de distorsion des otoémissions acoustiques n'a été observée. S'il ne se produit pas de modification des oto-émissions, il n'y a pas de problème au niveau des cellules ciliées externes, responsables de la grande sensibilité et sélectivité fréquentielle de l'oreille.

## T- Etudes en cours

Dans le cadre du projet COMOBIO, nous étudions l'audition - au niveau périphérique (cellules ciliées et nerf auditif) et central (tronc cérébral) - de cobayes exposés à différents niveaux de DAS (1,2 et 4 W/kg) une heure par jour, cinq jours par semaine pendant deux mois. Les groupes sont constitués de 8 animaux. Les groupes et les animaux au sein des groupes sont permutés en fonction de l'heure et de la localisation afin d'homogénéiser au maximum les conditions d'exposition. L'enregistrement des otoémissions acoustiques donne une mesure de la fonction des cellules ciliées externes de la cochlée, à la base de la première étape de la réception des sons. L'enregistrement du potentiel d'action du nerf auditif donne une mesure de la fonction périphérique globale (cochlée et nerf auditif). L'enregistrement des réponses évoquées du tronc cérébral donne une mesure centrale de la fonction auditive. Nous nous intéressons essentiellement aux seuils en fonction de la fréquence (pour les réponses électrophysiologiques) et à l'existence ou non de produits de distorsion acoustique des otoémissions, en fonction également de la fréquence.

A l'avenir, nous comptons modifier le protocole car plusieurs animaux ont perdu en cours d'expérimentation la canule implantée dans le cerveau pour la mise en place dans le colliculus inférieur de l'électrode d'enregistrement. Nous n'implanterons plus de canule à demeure mais piquerons désormais, lors de chaque enregistrement, des aiguilles sous la peau au niveau du vertex et des mastoïdes pour l'enregistrement des potentiels évoqués du tronc cérébral. Ainsi d'une part les réponses seront enregistrées d'une manière absolument identique pour les deux oreilles, d'autre part les animaux, hormis décès, seront disponibles dans leur totalité à tous les stades de l'expérimentation. Nous venons d'en valider la méthode chez des animaux normaux.

### 4. Pertinence des études réalisées et en cours

Il est possible de formuler trois critiques majeures pour ce genre d'études. Tout d'abord, le nombre de sujets d'expérience est faible par rapport au nombre d'utilisateurs actuels et futurs de téléphones mobiles. De plus, les durées d'exposition (journalière et totale) sont bien en dessous des durées d'utilisation actuelle des téléphones mobiles par un nombre significatif d'utilisateurs. Enfin, il est difficile de trouver des cobayes ayant une audition normale au départ. Certains sujets expérimentaux ou humains sont plus fragiles de manière générale (fragilités héréditaires et génétiques) et peuvent présenter des conditions physiologiques plus propices au développement de troubles.

Trois remarques peuvent être opposées à ces critiques.

Si les expériences actuelles révélaient des risques, des expérimentations à plus large échelle ne seraient pas nécessaires. En revanche, il faudrait s'intéresser aux mécanismes mis en jeu. La mise en œuvre d'expérimentations plus proches de la réalité de l'utilisation des téléphones mobiles demanderait des moyens extrêmement importants, sans aucune mesure avec les moyens actuellement disponibles. Toutefois, les expériences *in vitro*, beaucoup plus faciles à réaliser, même si elles peuvent apparaître très loin de la réalité, devraient permettre de préciser le risque. Le principal problème est la dosimétrie.

Remarque technique : Il faut juste préciser que l'*in vitro* est à contre-courant de la tendance actuelle et risque de créer de nouveaux problèmes sans répondre à la question principale des effets sanitaires.

---

**Audition de Pierre BUSER**

**Académie des Sciences**

**I. Réponse aux questions posées par écrit.**

**XIII- Pouvez-vous résumer les principales conclusions du colloque de l'Académie des Sciences sur les CEM-RF ?**

Il me semble que la problématique des téléphones mobiles comporte trois volets. Le premier est celui de la mesure des grandeurs physiques : celles du champ électrique en V/m, de la puissance en W/m<sup>2</sup>, de l'intensité du champ magnétique en A/m ou plus volontiers de la densité du flux magnétique en  $\mu$ T. A ces mesures s'associe, comme élément essentiel, celle de la puissance absorbée par les tissus de l'organisme, évaluée sous le nom de débit d'absorption énergétique spécifique (en anglais SAR pour *Specific Absorption Rate*, et en français DAS pour Débit d'Absorption Spécifique). Cette dernière mesure est de loin la plus délicate, car elle ne peut être effectuée directement et nécessite soit des capteurs intratissulaires soit doit être modélisée ; elle s'exprime généralement en W/kg de tissu exposé (corps entier ou 10g ou même 1g de tissu, c'est selon). Ces évaluations dosimétriques sont essentielles puisque elles seules nous permettent de connaître aussi objectivement que possible la fraction des RF qui agira sur l'organisme à partir d'une source en proximité immédiate.

Le deuxième volet est né avec l'inquiétude du public et certaines plaintes des utilisateurs. Les rayonnements, même non ionisants, ont depuis longtemps été l'objet de craintes quant à leurs effets sanitaires éventuels, mais les mobiles ont réactivé cette vieille peur parfois un peu oubliée. D'autant que, outre des cas isolés de tumeurs attribuées à leur effet, des signes cliniques subjectifs étaient rapportés ici ou là : céphalées, étourdissements, modifications du sommeil etc. Ces symptômes ont suscité dans un certain nombre de pays européens des recherches systématiques, entreprises soit sur l'homme, soit sur l'animal. En France, elles ont pris la forme d'un programme de recherches intitulé COMOBIO lancé à l'initiative du RNRT, et financé par des fonds en partie publics, en partie privés. Le troisième volet est plus sociologique et concerne très systématiquement l'aspect « panique et risque ». Il existe indubitablement, pour l'usage du téléphone mobile comme pour tant d'autres situations à risque, une composante humaine et sociale qu'il importe de ne pas négliger.

Le colloque que nous avons organisé à l'Académie des Sciences a été bâti sur ces trois thématiques. Le rapport écrit qui en résulte reflète bien ces trois volets. Le premier chapitre est consacré à la dosimétrie. Un deuxième traite des observations sur l'homme, hors épidémiologie, et un troisième, des études sur l'animal et *in vitro*. Le chapitre suivant traite plus particulièrement de l'épidémiologie, et presque exclusivement du cancer. Une cinquième partie est plus spéculative, portant sur l'évolution du contexte technologique. Enfin, un dernier chapitre est consacré à la gestion des éventuelles alertes, où quatre sociologues nous ont exposé leurs visions de la gestion des risques et dangers potentiels. Que pourrait-on, à mon sens, retenir en bref de ce Colloque ? Mes remarques concerneront principalement la dosimétrie, puis les observations effectuées chez l'homme et celles réalisées chez l'animal.

En ce qui concerne la dosimétrie, nous avons entendu trois exposés qui nous ont apporté une abondance de données précises. En nous montrant que les mesures de DAS (qui ne sont pas aisées, nous l'avons dit), sont très avancées mais qu'il reste encore beaucoup à faire, en exploitant davantage les modèles. Des fantômes ont été construits, des sondes aussi précises que possible sont utilisées. Mais une certaine marge d'hésitation perdure en ce qui concerne les valeurs acceptables pour cette absorption énergétique spécifique. Les scientifiques se basent sur le fait que le téléphone ne fonctionne pas toujours à pleine énergie. Le GSM de 900 MHz fournit une puissance crête de 2 W à 900 MHz et 1 W à 1800 MHz. Or, il est reconnu qu'en milieu urbain en particulier, les valeurs du dixième de cette

puissance maximale ne sont en général pas dépassées. Ces valeurs se situent nettement en dessous des seuils considérés comme limites acceptables par les divers organismes qui ont édicté des réglementations, c'est-à-dire l'ICNIRP (international), le CENELEC pour la Communauté européenne, le NRPB pour la Grande-Bretagne, et l'IEEE-ANSI et le FCC pour les Etats Unis. Ces études sont très importantes car elles mettent l'accent sur la nécessité de revoir une partie des premières études entreprises chez l'animal ou chez l'homme, qui souvent étaient restées trop imprécises concernant la dosimétrie.

Ajoutons que ces doses restent bien entendu toujours inférieures à celles suscitant des effets thermiques.

Notons à ce propos que la quasi-totalité du rapport de l'Académie est consacrée aux téléphones eux-mêmes, c'est-à-dire aux antennes placées contre l'oreille. Il ne traite pratiquement pas des stations de base, qui sont considérées comme ne présentant pas de risque majeur. Cela dit, il convient de prendre néanmoins en compte les craintes maintes fois exprimées par le public devant le développement de ces antennes fixes. Il s'agit là d'un phénomène complexe de peur du risque malgré les garanties objectives apportées, et à la discussion duquel les sociologues auront pu amplement contribuer. On peut également retenir du rapport que les discussions sur les valeurs seuils tolérables ne sont pas achevées, que d'autres révisions à la baisse ne sont pas exclues, si l'on mesure en particulier les initiatives de baisses de valeurs liminaires en Italie et en Suisse (respectivement 2 et 6V/m contre 40 à 60 V/m selon les actuelles recommandations européennes et internationales).

## **2. Quels symptômes peut-on explorer par des études expérimentales, in vivo ou en clinique chez les volontaires, comment peut-on étudier le déclenchement de céphalées, de fatigue excessive, d'insomnies... en lien avec l'exposition aux CEM-RF ?**

Concernant les observations chez l'homme, j'évoquerai tout d'abord les études sur le cancer. Je n'en parlerai pas d'avantage sinon pour rappeler que le projet du Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) que dirige Madame Cardis ne prend pas seulement en compte les tumeurs cérébrales mais également les neurinomes de l'acoustique et les tumeurs de la glande parotide, ainsi que les leucémies (ce que ne font pas nécessairement toutes les autres études de carcinologie). S'il existe actuellement beaucoup de résultats pour l'essentiel négatifs dans ce domaine, il n'en reste pas moins que ces investigations doivent se poursuivre.

D'autres enquêtes ont porté sur analyses épidémiologiques d'effets peut-être moins dramatiques. Ainsi une étude scandinave, qui a fait appel à un protocole apparemment très sérieux, a mis en évidence une abondance de céphalées lors de l'utilisation prolongée de téléphone mobiles. Etude à suivre, ici encore...

Quant aux analyses expérimentales chez l'homme, certaines ont porté sur le sommeil. Elles ont signalé des raccourcissements de la latence d'endormissement ou des réductions de la durée du sommeil paradoxal. Ces études sur le sommeil, qui demandent un soin énorme (éviter les effets du premier jour ou certaines réactions de « stress ») sont sans nul doute intéressantes. Je ne dirai pas grand chose en revanche des analyses électroencéphalographiques. Les logiciels actuels permettent aisément d'observer des modifications de la puissance spectrale mais il s'agit là d'une phénoménologie qui n'a à mes yeux pas une grande valeur explicative. D'autres recherches en revanche, de psychologie expérimentale, ont montré que sous l'effet des GSM, le temps de réaction de choix diminue (alors que le temps de réaction simple ne se modifie pas) ; j'ignore cependant quelle signification donner à cette observation. Il est notable ensuite qu'une recherche sur les potentiels évoqués auditifs chez l'homme (dont l'examen détaillé permet de suivre d'éventuelles modifications de latence et donc d'altérations de la voie auditive), n'ait donné aucun résultat positif. Autre résultat observé chez l'homme mais remis en cause; il s'agit d'effets cardio-vasculaires (modification de la pression artérielle) constatés par un chercheur, mais critiqués car peu précis quant à la dosimétrie. On retient enfin que les

céphalées, signalées chez l'homme, font actuellement l'objet de recherches sur un modèle animal dans le cadre du projet COMOBIO.

## II. Discussion avec le groupe d'experts

Q : La leçon que vous retirez des observations chez l'homme est que le travail n'est pas terminé. Interprétez-vous ceci comme une manifestation du légitime, et habituel souci professionnel de toujours poursuivre les recherches, ou comme le témoignage d'une crainte des chercheurs ?

R : Il me semble que les deux interprétations sont valables. La critique est souvent aisée. Les recherches sur l'homme et sur l'animal sont, pour des raisons différentes, très difficiles. Chez l'homme, le danger est permanent, qu'il s'agisse d'un effet bien différent de celui, direct, du téléphone mobile. La presse ne fait à cet égard pas nécessairement la différence. Il est pourtant impossible d'occulter le phénomène sociologique (crainte du risque) et d'éliminer un « stress » que cette crainte peut éventuellement engendrer. Les cliniciens connaissent bien les affections psychosomatiques de toute espèce. Celles-ci ne doivent pas être oubliées. Chez l'animal, le stress existe également. Cela dit, je suis étonné que les travaux sur ce sujet soient effectués principalement sur les rongeurs. Ces derniers sont quand même très éloignés de l'homme. Je regrette qu'il n'existe quasiment aucune expérience sur le singe.

*Remarque technique* : La raison primordiale est qu'il est très difficile, en raison d'une forme de crâne différente, de reproduire sur le macaque l'exposition de l'homme. Des années ont été consacrées pour construire des antennes spéciales pour les rongeurs. Pour le macaque, il faudrait développer un système. En outre, nous possédons davantage de références expérimentales sur les rongeurs.

R : Je reconnais ces raisons qui sont tant de fois aussi mises en avant à propos d'autres domaines de recherche, ne serait-ce que pour des motifs économiques et de difficultés de manipulation des primates. Il est clair que l'utilisation de macaques, ou même de babouins, exigerait une logistique nouvelle, beaucoup d'argent et beaucoup d'efforts, mais je persiste à penser que cela en vaudrait peut-être la peine.

Q : On a l'impression que ce domaine scientifique est immature, comme l'était celui de la très basse fréquence il y a huit ans. Or dans ce dernier domaine les études conduisent maintenant à des résultats concordants d'une équipe à l'autre.

R : C'est un peu ce que je pense aussi. Il faut que les protocoles soient mieux standardisés pour en stabiliser les résultats et faciliter l'interprétation. Notez en tout cas que bien des chapitres du rapport de l'Académie se terminent par une sorte de phrase rituelle : « il convient de poursuivre les expériences car les résultats ne sont pas définitivement acquis ». Ainsi qu'une autre, sorte de leitmotiv : « il n'a pas été démontré que les RF étaient à risque, mais l'absence de tout risque n'a pas davantage été démontré ».

Q : Il serait intéressant de travailler sur des modèles animaux ou sur des hommes atteints de certaines pathologies. Ainsi, il faudrait par exemple rechercher si des électroencéphalogrammes légèrement anormaux ne sont pas plus profondément modifiés que des enregistrements normaux.

R : Effectivement, il pourrait s'agir avec l'EEG légèrement pathologique d'un indicateur très sensible. Car nous manquons parfois de tels indices assez sensibles. Je n'ignore pas qu'un programme de COMOBIO a envisagé de se tourner vers certains sujets atteints d'épilepsie.

Q : Dans une synthèse publiée durant l'été, K Foster et J Moulder prétendent que s'il existait effectivement des effets non thermiques, la mesure du DAS ne serait pas un bon critère d'appréciation de l'exposition. Que pensez-vous de cette proposition ?

*Remarque technique* : Contrairement à une idée répandue, le DAS n'est pas une mesure d'un effet thermique, mais est représentatif du champ électrique au carré. Or, il faudrait pouvoir mesurer le champ électrique à un endroit donné. En prenant le champ électrique au carré, on perd de l'information. Le DAS prend en compte les absorptions différentes des divers tissus puisque qu'il inclut  $\sigma$  qui mesure la conductivité.

R : Pour reprendre la remarque technique, il est exact que le DAS n'évalue en aucun cas seulement l'effet thermique, mais bien plus généralement la puissance absorbée. Mais la seule mesure du champ électrique E ne suffit pas à apprécier cette puissance absorbée puisque joue, comme le remarque l'intervenant, la conductivité  $\sigma$  du tissu irradié comme multiplicateur et en plus sa masse volumique  $\rho$  comme diviseur ( $\sigma E^2/2\rho$ ). Quant à savoir si le DAS est la meilleure évaluation de l'effet des RF (étant entendu que nous sommes de toute manière au-dessous du seuil d'effet thermique), la preuve reste peut-être à faire. Quitte à me répéter, je souhaiterais insister sur la nécessité de ne pas détacher le seul danger physique de l'irradiation, d'un contexte plus large dans lequel interviennent les effets psychologiques de la crainte d'un risque, fût il en soi-même inexistant. Parmi tous les messages en direction de la presse, ce dernier facteur mérite de ne pas être négligé.

Je tenais pour terminer à souligner que le rapport de l'Académie, comme bien entendu aussi le Colloque dont il est l'émanation, n'auront représenté qu'un instantané sur l'état d'une question, qu'un rapport d'étape sans autre prétention que de faire le point au moment même où les choses ont été dites.

Le temps m'a ici manqué pour évoquer ce que nous avaient dit les sociologues. Nul doute que leurs messages sur la gestion des risques, ce qu'il conviendrait de faire et ce qu'il conviendrait d'éviter devant une panique, sauront intéresser les lecteurs du rapport.

## **Audition de Philippe HUBERT**

### **Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire**

#### **I. Introduction :**

*Note technique :* Philippe Hubert est l'un de ceux qui ont le plus réfléchi sur l'utilisation de faits scientifiques incertains dans la prise de décision. Il anime un groupe de réflexion sur l'évaluation du risque au sein du Comité National de Sécurité Sanitaire. D'un point de vue épistémologique, le contexte actuel de la téléphonie mobile est assez proche de celui des rayonnements ionisants il y a quelques dizaines d'années, d'où l'intérêt de cet échange.

Je m'occupe du service d'évaluation et de gestion des risques, portant essentiellement sur les effets des rayonnements ionisants, à l'IPSN. Ce service comprend une unité effectuant une évaluation de l'impact, une unité d'épidémiologie des rayonnements et une unité de gestion des risques, qui fait des travaux sur les règles de gestion, du point de vue philosophique et du point de vue de la perception des risques.

*Note technique :* le texte qui suit est celui remis par Philippe Hubert, suivi de la transcription des débats.

La gestion du risque radiologique porte sur un domaine très vaste. Elle s'applique aux expositions du public et des travailleurs. Elle porte sur les activités utilisant l'énergie nucléaire (filiale électronucléaire, navires à propulsion nucléaire, nucléaire militaire) ou les propriétés des rayonnements ionisants (radiodiagnostic, radiothérapie, contrôle des matériaux, stérilisation, traitement de surface, inspection de bagages et colis, détection d'incendie), mais aussi les activités conduisant à augmenter les expositions "naturelles" (mines, transport aérien, certaines céramiques et terres rares, thermalisme et embouteillage d'eaux...). Elle vise de plus à la réduction de risques "naturels" (par exemple Radon dans les bâtiments). Enfin, la maîtrise des doses aux patients en cas d'examen radiologique ou le traitement par les rayonnements font partie de ce que l'on appelle la "radioprotection". Aussi en plus de quelques centaines de milliers de travailleurs (En France environ 250 000 personnes sont suivies), toute la population (cf. radiodiagnostic, radon) est concernée à un titre ou à un autre.

Les dangers à maîtriser se rangent en deux familles. La première regroupe des effets à seuils, associés à des doses assez fortes, souvent aigus (brûlures et destructions de tissus, troubles de la spermatogenèse, cataractes, tératogenèse) que l'on appelle "effets déterministes". Le respect de

Valeurs Limites d'Exposition permet d'éliminer ce type d'effet. La seconde famille regroupe des effets différés, qui ne se produisent pas nécessairement, mais dont la probabilité de survenue croît avec la dose (cancers, malformations congénitales). Ils sont appelés "effets stochastiques". Le respect des Valeurs Limites d'Exposition n'est pas supposé éliminer le risque et la gestion fait appel à des notions d'acceptabilité.

Depuis l'identification des risques et des premières précautions (dès 1896 pour les brûlures) s'est constitué un système de gestion des risques très élaboré et placé d'emblée au plan international. La genèse de ce système puis son fonctionnement actuel sont décrits ci-après. Les avantages et inconvénients de ce "modèle de gestion de risque" seront ensuite discutés et mis en perspective avec les principes de gestion discutés actuellement.

#### Mise en place du système de protection radiologique

L'évolution du système s'est fait selon trois axes : développement des pratiques industrielles et des institutions, avancées des connaissances sur les effets des rayonnements et mise en forme des règles de gestion [CE 1996].

#### **Développement des institutions et des pratiques**

La première pratique radiologique est l'application des "rayons X" au diagnostic médical : découverte en 1896, utilisation presque banalisée 2 ans après, équipement des armées en 1914. Avant la première guerre des "Röntgen society" existaient et avaient émis des recommandations. Dans les années 20, apparaissent les utilisations du Radium (peinture luminescente, dont les impacts nuisibles allaient être rapidement reconnus). Le premier congrès de radiologie (Londres 1925) décide la mise en place (officialisée à Stockholm en 1928) de la Commission Internationale de Protection Radiologique (d'abord appelée Comité International de Protection contre les Rayons X et le Radium). La CIPR a proposé sa première norme en 1934 (Congrès de radiologie de Zurich). Le secteur de la santé était à cette époque le seul concerné à large échelle.

La seconde guerre mondiale voit la naissance de l'industrie nucléaire militaire (mines, réacteurs, fabrication de combustible, armes, retraitement). Après guerre, le nucléaire civil se développe à son tour, puis d'autres applications des rayonnements (stérilisation, détecteurs de fumée, jauges d'épaisseur). Peu à peu, les problèmes liés à l'industrie nucléaire vont induire les orientations en matière de radioprotection.

La CIPR, reconstituée après les hostilités, s'exprime par des publications formelles à partir de 1955. Depuis, les évolutions sont documentées, argumentées scientifiquement et en termes d'objectif de gestion. Aux Etats-Unis le National Council on Radiation Protection (NCRP), instauré en 1946, joue un rôle similaire sur le continent américain. Les propositions des deux institutions ont toujours été proches. Cependant, c'est en dehors de ce cadre qu'ont été proposées les premières limites pour le public (conférence tripartite sur l'industrie nucléaire E.U., R.U., Canada).

Les années cinquante sont celles des tirs aériens d'armes nucléaires. L'augmentation des retombées, et le tir "Bravo" du 1 mars 1954 (contamination du thonier japonais "Le dragon bienheureux" et de l'atoll de Rongelap dans les îles Bikini) ont conduit les Nations Unies à créer le United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations (UNSCEAR). Le comité, centré sur la production de connaissances, rassemble les données à la fois sur les effets et sur les sources d'exposition, tant naturelles qu'industrielles, militaires ou médicales. Il procède à des synthèses complètes, et critiques, qui constituent une source d'information sans équivalent pour les autres nuisances.

Une organisation intergouvernementale, l'Agence Internationale de l'Energie Atomique a été créée en 1957. L'Agence publie des "Basic Safety Standards" conjointement avec plusieurs organisations dont le Bureau International du Travail. En Europe, le traité Euratom prévoit la définition de normes de base (première Directive en 1959) dont la dernière édition date de 1996 (Directive 96/29 Euratom du Conseil, du 13 mai 1996).

A ce jour sont donc en place des institutions scientifiques (UNSCEAR) sur lesquelles s'appuient des organisations non gouvernementales (CIPR, NCRP) pour rédiger des recommandations, lesquelles sont reprises sous forme réglementaire, par exemple par l'Union Européenne (il est admis tacitement de fonder les "normes de base" sur les recommandations de la CIPR) ou par des institutions intergouvernementales (AIEA).

## De l'identification à la quantification des effets sur la santé

Les effets dits "déterministes", dont l'apparition suit assez rapidement l'exposition aux rayonnements, ont été vite reconnus. La première étude documentant les effets sur la peau date de 1896. La guerre de 1914-1918 a vu un développement massif de la radiologie médicale, et le nombre de lésions radio-induites a été très élevé. Le corps médical et les "Röntgenologistes" ont pris conscience de ce danger. L'apparition de l'erythème cutané (la moins sévère des brûlures) a servi de référence pour la définition des limites pendant une cinquantaine d'années (il existe d'ailleurs toujours une limite "peau").

Les autres effets déterministes (cataractes, baisse de la fertilité ou stérilité, malformations dues aux irradiations in utero) ont été identifiés assez vite. Les travaux de recherche sur ces sujets se poursuivent parce que tous ces effets et leurs mécanismes ne sont pas parfaitement connus, et que l'enjeu est important dans les situations accidentelles ou en irradiation thérapeutique. Cependant, la maîtrise de ces effets soulève relativement peu de controverses car aucun des travaux en cours ne remet en question la pertinence du système de limites.

Leucémies, "maladies du sang" et cancers des os ont été identifiés dans les années vingt, à partir d'observations sur les manipulateurs d'appareils à rayons X et du radium. Le congrès de Stockholm écrivait que "les effets connus dont il convient de se prémunir sont : (a) les lésions des tissus superficiels, (b) les troubles des organes internes et les modifications de la composition du sang" [Norstedt 1929]. Leur mode d'induction n'était pas conçu comme réellement différent de celui des effets aigus et les connaissances de cette époque n'ont pas conduit à des approches nouvelles pour la gestion des risques.

Avant la seconde guerre mondiale, les chercheurs ont identifié les effets héréditaires (appelés "effets génétiques" encore aujourd'hui) qui sont des mutations susceptibles d'induire des malformations dans la descendance des individus exposés. Des expérimentations animales avaient mis en valeur ce phénomène (modèle animal de la drosophile). Lors du "Projet Manhattan", ce risque était assez présent à l'esprit des chercheurs. Il a aussi motivé le lancement d'études à Hiroshima et Nagasaki. Aujourd'hui, la part relative de cet effet est jugée plus faible par rapport aux cancers (à peu près 1/3 du total en 1977 pour 1/7 en 1990), et il n'y a toujours pas d'observations épidémiologiques qui viennent conforter l'expérimentation animale. Il est à noter que, à cause de la prise en compte de mutations récessives, cet effet a conduit à prendre en compte des expositions collectives et à placer le risque au niveau sociétal. Les effets héréditaires ont aussi conduit à introduire les notions de risque aléatoire ou "stochastique", (l'effet n'est pas lié de façon déterministe à l'irradiation) et d'absence de seuil.

Vers la fin des années cinquante, la CIPR indique que les effets identifiés et contre lesquels il faut se prémunir sont les suivants : [CIPR 1958] ;

Les effets "somatiques aigus" : brûlures.

Les effets "somatiques différés" : leucémies et "centres maladies malignes", cataractes, troubles de la fertilité, réduction de la durée de vie (cette dernière considérée alors comme un des effets les plus plausibles).

Les "dommages génétique", c'est-à-dire les malformations congénitales dans la descendance.

Ainsi, les effets étaient tous identifiés, même si leur hiérarchie a considérablement changé, et si les mécanismes supposés ont fortement évolué (l'atteinte du matériel génétique de la cellule n'était certes pas décrite comme mécanisme de cancérogenèse). Peu de ces effets étaient étayés sur l'épidémiologie, discipline alors balbutiante et peu crédible dans les milieux des biologistes. Les données épidémiologiques d'A. Stewart sur les effets de l'irradiation in utero étaient par exemple mal reçues et les effets les plus redoutés étaient ceux bien mis en évidence par l'expérimentation animale [MUIRHEAD 1989]. Chez l'homme, leucémie et cancer des os étaient reconnus, mais selon une logique plus clinique qu'épidémiologique.

A partir des années soixante, les avancées de l'épidémiologie font évoluer le tableau. La mise en évidence successive de nombreux cancers (peau, thyroïde, sein, poumon, foie, estomac...) fait passer cette pathologie au premier plan, tandis que raccourcissement de la durée de vie et dans une moindre mesure, les effets génétiques, qui n'ont toujours pas pu être mis en évidence par l'épidémiologie, perdent de leur importance. Autre évolution, le débat se focalise sur la quantification du risque. La relation dose-effet linéaire sans seuil est postulée comme outil de gestion et l'enjeu va être d'en

estimer les paramètres et d'en critiquer les fondement : les coefficients de risque sont-ils les mêmes aux faibles doses et aux faibles débits de dose ? peut on les "transporter" d'une population à l'autre ? Les commissions scientifiques font alors un usage important des études épidémiologiques, sans négliger les expérimentations animales et in vitro, qu'elles utilisent parfois (discussion de l'effet du débit de dose, équivalences entre rayonnements). L'étude des survivants d'Hiroshima et Nagasaki joue un rôle majeur dans la construction des relations dose-effet, mais ce rôle n'est pas exclusif. La CIPR, par exemple, ne l'a pas utilisée pour les cancers de la peau, de la thyroïde, du foie et de la surface osseuse [CIPR 1991]. Le comité BEIR a abondamment utilisé d'autres sources en parallèle à celle d'Hiroshima et Nagasaki, en particulier pour le cancer du sein et de la thyroïde [BEIR 1990]. L'UNSCEAR effectue aussi la comparaison systématique des coefficients que l'on peut tirer des différentes études, [UNSCEAR 1988], [UNSCEAR 1994]. Quant à la relation entre le cancer du poumon et le radon, elle est basée sur des études chez les mineurs (uranium, fer, étain).

Les études épidémiologiques peuvent être classées en trois groupes : celles qui ne fournissent aucun résultat significatif ; celles qui sont utilisées pour construire les relations dose-effet ; celles qui fournissent des résultats significatifs mais ne permettent pas la quantification de coefficients de risque. Dans ces dernières, soit l'effet est démontré sans que les doses soient assez bien connues (ex. médecins exposés avant la seconde guerre mondiale, cancers de la thyroïde pour les enfants autour de Tchernobyl), soit les résultats en cours de consolidation (ex : effets sur la leucémie chez les riverains de la rivière Techa, travailleurs de l'industrie nucléaire). Le cas des irradiations in utero est intermédiaire, les doses sont peu précisément connues, mais il y a aussi eu discussion sur les méthodes [MUIRHEAD 1989].

Pour examiner l'ampleur des extrapolations à effectuer, on peut placer les situations d'exposition actuelles et les études épidémiologiques dans un plan où figurent niveau de dose et durée d'exposition (Figure 1). Du fait de l'irradiation naturelle, le public est exposé à des doses de l'ordre de 2,5 à 5 mSv par an, voire au delà, selon le lieu de vie. La dose s'accumule avec la durée de vie et elle peut dépasser les 200 mSv. Pour le radiodiagnostic, la moyenne a peu de sens, car l'exposition, brève, porte sur des organes précis. Généralement basses, les doses à l'organe peuvent être plus élevées pour des examens spécifiques (angiographies, scanners...). Les expositions des travailleurs sont de l'ordre de 2 mSv par an dans l'industrie nucléaire, mais la réglementation permet d'approcher 50 mSv par an ce qui est le cas de quelques personnes.

La notion d' "extrapolation aux faibles doses " apparaît ainsi comme trompeuse. Les niveaux de dose étudiés dans les études épidémiologiques ne requièrent pas des extrapolations très importantes pour passer à des situations d'exposition usuelles. Ainsi la dose moyenne des survivants d'Hiroshima et Nagasaki est de 130 mGy (230 chez les 35 000 personnes à " dose non nulle "), et la significativité de l'excès a été reportée dès 50 mSv [PIERCE 1996], même si certains jugent que 100 mSv serait une valeur plus plausible. Chez les enfants dont la thyroïde a été irradiée, le niveau de dose auquel le risque devient significatif est assez bas, par exemple de l'ordre de 100 mGy chez les enfants Israéliens soignés pour la teigne, ou dans la plage 0-300 pour ceux traités pour hypertrophie du thymus [SHORE 1992], [SHORE 1993]. Ces niveaux ont baissé de façon sensible au cours des deux dernières décennies, du fait de la puissance statistique accrue qu'a procuré l'allongement du suivi. Dans les années soixante-dix, aucun excès ne pouvait être mis en évidence en dessous de 1Gy. Au moment de la recommandation de 1990 de la CIPR, ce chiffre était de 0,2 Gy.

En revanche ce sont les débits de dose qui sont très différents (sauf pour le radiodiagnostic), et ce n'est plus sur un ordre de grandeur que porte l'extrapolation mais sur 4 ou 5. L'enjeu des premiers résultats relatifs aux travailleurs du nucléaire, ou sur les riverains de la Techa, ou même les descriptions de cancers de la thyroïde autour de Tchernobyl apparaît alors clairement. Même quand les résultats ne permettent pas d'estimer un coefficient de risque, ils montrent que l'induction de cancer se produit aussi dans ces domaines. L'extrapolation est ainsi non pas plus précise, mais mieux fondée.

Le même exercice peut être réalisé pour les expositions au radon, l'ensemble des études sur les mineurs ayant été synthétisé [NCI 1994]. Les écarts sont alors nettement plus limités tant en débit qu'en niveau. Par exemple, dans sa vie professionnelle, un mineur de l'étude française avait reçu la même dose qu'un habitant des deux ou trois départements les plus exposés sur sa vie entière. Pour valider en population générale les estimations de risque déduites de l'étude des mineurs, des études cas-témoins ont été lancées dans différents pays. Les premiers résultats n'ont pas permis de détecter

clairement l'existence d'un effet significatif du radon aux doses couramment rencontrées dans la population générale. Certaines études sont positives, d'autres ne fournissent pas de résultats significatifs. Une meta-analyse récente des huit meilleurs études réalisées dans le domaine, fournit cependant un coefficient de risque proche de celui des mineur<sup>s</sup> [LUBIN 1997].

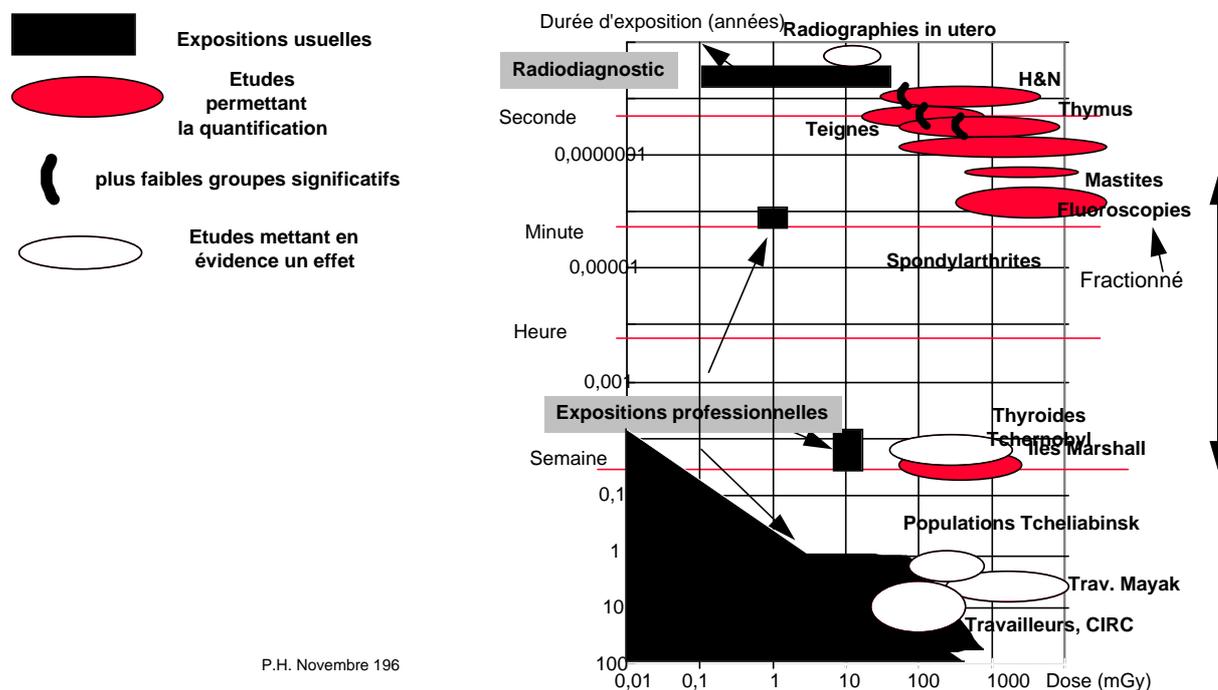


Figure 1 : Etudes épidémiologiques et situations d'exposition actuelles ; comparaison des niveaux de doses et durées d'exposition.

L'évolution, au fil des synthèses successives, des estimations du risque de décès par cancer radio-induit est présentée ci-après (tableau I). On note l'importance du choix qu'il faut faire quand on utilise le suivi épidémiologique d'une population qui n'est pas éteinte. Est-ce le risque absolu (excès annuel de cancer par unité de dose et pour 100 000 personnes années) ou le risque relatif (proportion en excès, par unité de dose, par rapport à l'incidence naturelle) qui va rester constant ? La fin des années quatre vingt a permis de clore l'alternative en éliminant le modèle en "risque absolu constant". Les anciennes valeurs de l'Académie des Sciences des Etats-Unis (BEIR) montrent que si le modèle en "risque relatif constant" avait été choisi à l'époque, il en aurait résulté une grande stabilité des estimations de risque. Ce ne fût malheureusement pas le cas. On note aussi que les estimations font appel à un "facteur de réduction" de 2 pour les faibles doses et les faibles débits.

Tableau I : Evolution des coefficients de risque

	Probabilité de décès par cancer radio-induit : % par Sv		
	Irradiation aigue, rayons X et gamma		Recommandation pour les « expositions courantes »
	“risque absolu constant”	“risque relatif constant”	
1972 : BEIR I	1,2	6,2	
1977 : UNSCEAR	2,5	non estimé	
1977 : CIPR			1,25
1980 : BEIR III	0,8/2,5	2,3/5	
1988 : UNSCEAR	4/5	7/11	

1990 : BEIR V	non retenu	8,85	
1990 : CIPR 60			5

### Elaboration des règles de gestion

L'évolution des niveaux d'exposition admis doit être mise en relation avec trois questions : le statut de la valeur limite d'exposition, la notion d'acceptabilité, et le principe d'optimisation. En parallèle, la notion de "dose" a beaucoup évolué.

Le concept de dose n'a rien d'évident et son statut actuel induit souvent en erreur. Aujourd'hui la "dose efficace", unité dans laquelle sont exprimées les principales limites, n'est pas une grandeur physique, mais un indicateur pondérant diverses expositions (à divers organes, selon divers types de rayonnements), en fonction de leurs effets supposés et de jugements de valeur sur leur gravité (1 décès par cancer radioinduit équivaut par exemple à une anomalie grave dans la descendance). Elle est plus proche d'un outil de gestion que d'une grandeur physique.

Les limites s'appliquent donc à des "doses" différentes, et elles ont eu des objets différents. Les premières limites visaient à éliminer le risque. La première mesure de la "quantité de rayons X" a été adoptée en 1928, basée sur l'ionisation de l'air, elle a été baptisée Röntgen (r puis R). D'autres chercheurs avaient tenté de définir une SED (Skin Erythema Dose) dans les années 20. Ainsi, dès le début, il a fallu mettre ensemble les approches physiques et des approches biologiques de la dose ; on a pu estimer qu'un SED correspondait à environ 600 r (plus tard cette dose a été estimée à 500 rad ou à 500 rem pour des rayonnements X ou gamma et enfin à 5 Gy ou 5 Sv). La première valeur de la CIPR (Zurich en 1934), de 0,2 Röntgen par jour correspondait à environ 500 mSv par an. On parlait alors de "dose tolérée".

En 1941, la notion de "dose maximale admissible" est proposée aux Etats-Unis, pour signifier que la limite n'est plus une garantie absolue. Celle-ci est ramenée à 0,05 r par jour par le National Council on Radiation Protection and measurement (NCRP, vers 1946 suivi par la CIPR en 1950), correspondant donc à environ 125 mSv par an, en particulier par crainte des effets héréditaires. La notion de "limite de dose pour le public" fût proposée en 1949 (Conférence EU, RU, Canada) pour la première fois et fixée à Harriman en 1953 (1,5 Röntgen par an, environ 15 mSv, soit environ 1/10 de la dose travailleur).

Les premiers concepts ne permettaient pas de gérer en même temps les incorporations de Radium (une limite de 0,1 µg a été proposée en 1941). La notion de cumul n'était pas explicite et les doses étaient exprimées sur des bases hebdomadaires ou mensuelles.

En 1958, lors de la première recommandation de la CIPR, les concepts actuels étaient élaborées. La dose "physique" était le rad, correspondant à l'ionisation des tissus et non plus de l'air (1 rad = 0,01 Gy = 0,01J·kg<sup>-1</sup>), une première équivalence biologique était le rem (on avait noté que les neutrons et les particules α étaient "biologiquement" plus efficaces) et la notion de cumul était introduite avec des limites portant sur la vie entière. La notion de dose collective, supportée par le risque d'effets génétiques, était aussi développée. Les calculs permettaient de relier les concentrations le radionucléide dans le corps et des doses et donc de convertir des rems en concentration admissibles. La notion de "dose en corps entier" était esquissée, mais ne fonctionnait que dans le cas où "les organes recevaient une dose sensiblement équivalente".

Le souci de limiter les "effets génétiques" ou "effets héréditaires" a conduit à deux innovations (formulées par la CIPR dans ses recommandation de 1958). La valeur limite pour les organes reproducteurs n'est qu'un "plafond", résultat d'un arbitrage entre coût et bénéfice. La notion de "dose collective" est introduite indirectement. Une limite 5 rems (50mSv à l'organe) s'applique à la dose moyenne à la population (pondérée par la descendance attendue). Le système est basée sur une relation linéaire sans seuil. La notion d'acceptabilité (ici sanitario-socio-économique) est introduite et associée à la limite. La CIPR juge que ces valeurs imposeraient un "fardeau considérable à la société" du fait des dommages héréditaires, mais qu'il est "tolérable... au vu des bénéfices attendus de l'énergie nucléaire". La nécessité de maintenir les doses "aussi bas que possible" est soulignée.

Pour l'ensemble des autres risques, la "dose permissible" doit maintenir le risque à un niveau "négligeable", qui au niveau des populations ne serait détectable que "par des méthodes statistiques appliquées à de large groupe", et resterait "probablement caché par les variations biologiques normales". Il s'agit là d'une deuxième notion d'acceptabilité, différente de la précédente, liée à la "non détectabilité" ([CIPR 1958] §31). En revanche, absence de seuil, et absence de "réparation" des organes même longtemps après l'exposition sont postulées en tant qu'hypothèses prudentes. Les limites sont plus strictes pour les gonades, les organes hématopoïétiques et la cornée (0,1 rem par semaine, environ 50 mSv par an). Pour les groupes de riverains (à cause des enfants) la limite pour ces organes est fixée à 0,5 rem par an (5mSv).

Par la suite, la relation linéaire sans seuil prend une importance croissante, et le "risque" de cancer radio-induit est jugé plus important que les effets héréditaires. La publication 26 de la CIPR de 1977 [CIPR 1977] formalise alors le système, avec des coefficients de pondération par organe et par type de rayonnement. Le

concept de dose central devient la "dose efficace au corps entier" ; il ne s'applique pas pour l'estimation des effets aigus pour lesquelles les doses aux organes restent seules pertinentes. Il permet de gérer de façon uniforme toutes les situations d'exposition, au prix de hypothèses parfois fortes (par exemple que le débit d'exposition n'influe pas sur la cancérogenèse) que la pratique tend à faire oublier.

La recommandation 26 confirme une limite à 50 mSv (sur la notion de "équivalent de dose efficace au corps entier"). Pour la première fois elle associe un risque à cette limite (environ  $10^{-3}$  pour un an d'exposition). C'est donc une limite basée sur l'acceptabilité, celle-ci étant définie par comparaison avec le risque des travailleurs dans les industries "sûres" (et sous l'hypothèse que la dose moyenne des travailleurs n'est que 1/10 de la limite), et le risque est calculé avec une relation dose effet définie comme "raisonnablement prudente". Sauf pour les effets aigus, le caractère protecteur des limites est définitivement rejeté et le terme acceptable est utilisé.

Le principe d'optimisation -"toutes les doses doivent être maintenues aussi bas que raisonnablement possible"-est intégré à la recommandation, dont il constitue une pièce maîtresse.

La nouvelle recommandation de 1990 (publication 60 de la CIPR [CIPR1991]), outre la baisse des limites (20 et 1 mSv par an moyenne sur 5 ans), ne qualifie plus les valeurs limites comme "acceptables" mais comme "frontière de l'inacceptable". Les expositions ne sont acceptables que si elles sont en-dessous des limites et si elles ont été réduites aussi bas que raisonnablement possible. Acceptabilité et optimisation sont ainsi liées et l'acceptabilité ne se juge donc plus en termes de niveaux de risque mais sur la qualité de la gestion du risque. Le texte contient de longs développements sur la façon de juger de l'optimisation et d'encadrer les pratiques. On peut aussi noter que des notions comme le dose génétique significative ont disparu. Les hypothèses ne sont qualifiées de prudentes que très rarement. La nécessité de réévaluer le coefficient de risque ayant rendu la CIPR prudente face à de telles affirmations.

Valeurs limites, notions de dose et d'acceptabilité ont été modifiées au cours du temps, pour aboutir à nos systèmes de "gestion du risque en risque acceptable" dont les grandes lignes sont décrites ci-après.

#### Les recommandations en cours d'adoption

Les recommandations de la publication 60 de la CIPR [CIPR 1991] remplacent celles du document ICRP Publication 26 [CIPR 1977]. Ces recommandations ont aussi fondé la directive Européenne adoptée en 1996 [C.E. 1996], qui est en cours de transcription dans les pays de l'Union Européenne. Le champ d'application de la Directive recouvre à peu près celui de la CIPR, à l'exception de l'exposition du public au radon (objet d'une recommandation séparée) et de celle des patients aux expositions médicales (objet d'une séparée).

#### Les bases : Dangers et estimation des facteurs de risque

La recommandation s'appuie sur les données disponibles en 1990 sur les effets "déterministes" (antérieurement appelés non-stochastiques), la cancérogenèse (données rassemblées en grande partie par l'UNSCEAR [UNSCEAR 1988]) et les effets "héréditaires". Les dangers considérés sont les mêmes qu'antérieurement. En revanche, le coefficient de risque pour la probabilité de cancer par unité de dose augmente fortement, essentiellement parce que l'hypothèse du risque absolu constant a été rejetée par les données d'Hiroshima et Nagasaki (cf. Tableau I).

Pour construire une relation dose-effet, les coefficients de risque ajustés sur les données de base, sont ensuite extrapolés et appliqués à d'autres populations pour le calcul des risques "vie entière" ou dans d'autres conditions d'exposition. Certaines hypothèses sont relatives à la démographie (le risque croît avec l'espérance de vie), d'autres à la façon d'extrapoler d'une population à l'autre, des jeunes à l'ensemble de la population, ou encore, d'irradiations localisées aux irradiations globales, etc... Quelques données animales ou in vitro sont utilisées (par exemple pour l'équivalence neutrons-rayons X et gamma, ou pour discuter l'effet du débit de dose). Des jugements de valeur entrent aussi dans le choix de l'indicateur (probabilité de décès plutôt que perte d'espérance de vie, agrégation d'effets mortels et non mortels).

La seule règle d'extrapolation explicite (mis à part celles sur la nature du rayonnement) est celle du *Facteur d'efficacité de la dose et du débit de dose* ("*dose and dose rate effectiveness factor*" : DDREF). Les données épidémiologiques utilisées pour quantifier portent sur des populations exposées à des doses relativement élevées, et surtout délivrées en un temps bref (cf. Figure 1). La CIPR postule que, pour les rayons X et gamma, l'effet par unité de dose est moins important à faible dose et faible débit de dose. La CIPR utilise un facteur 2 depuis 1977. Il est à noter que des valeurs plus fortes avaient été suggérées (3 à 10) Le DDREF doit être appliqué à des doses inférieures à 0,2 Gy ou à des débit de dose inférieurs à 0,1 Gy h<sup>-1</sup>.

Les coefficients de risque de décès par cancer après irradiation du corps entier sont valorisés en termes de probabilité de décéder à cause d'un cancer radio-induit :

- 5 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de tous âges, au moment de l'exposition ;
- 4 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de 18 à 65 ans.

Ces coefficients correspondent à des niveaux de risque assez élevés. Appliqués aux irradiations naturelles et médicales en France ils signifient que 12 000 décès par cancer sont à attribuer à ce facteur de risque. Les coefficients de risque "génétique" pour toutes les générations à venir sont :

- 1 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de tous âges,
- 0,6 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de 18 à 65 ans.

Une grandeur a été construite pour prendre également en compte le risque de cancer non mortel en pondérant la probabilité de survenue de ce type de cancer (essentiellement peau et thyroïde) par un indice de perte de qualité de vie. Ce facteur pondéré est ajouté aux facteurs de risque de décès et risque d'effets héréditaires. Le "détriment sur la vie entière" ainsi calculé est de :

- 7,2 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de tous âges,
- 5,5 % Sv<sup>-1</sup> pour une population de 18 à 65 ans.

Ainsi la mesure du risque fait appel à des choix qui relèvent de la gestion, comme celui de l'indicateur. La perte d'espérance de vie aurait aussi bien pu être choisie. L'évolution des données à Hiroshima et Nagasaki ayant eu une influence assez faible sur celle-ci, la baisse des Valeurs Limites d'Exposition aurait été minime, ce qui démontre l'importance des choix "non-scientifiques".

### La mesure du risque ; doses et équivalents de dose

Certains coefficients ont évolué depuis 1977 mais la démarche générale reste la même. Elle consiste à dériver, à partir d'une grandeur physique (la dose absorbée), des "doses équivalentes" qui permettent d'exprimer dans une unité commune des expositions par des rayonnements de nature diverses, reçues par des organes divers. Il s'agit d'indicateurs, à visée de gestion, basés sur une équivalence en risque. Ils sont à la base des règles opérationnelles.

La **dose absorbée** est la grandeur dosimétrique de base. C'est une grandeur physique (notée D<sub>T</sub> pour Dose "Tissu"), définie comme l'énergie déposée par unité de masse. Son unité est le *joule par kilogramme* (Gray, noté Gy).

De nombreux effets biologiques dépendent aussi de la nature du rayonnement. La CIPR définit des facteurs de pondération de la qualité du rayonnement pour calculer une dose pondérée appelée **dose équivalente à l'organe** ( $H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$  où D<sub>T,R</sub> est la dose absorbée dans l'organe T due au rayonnement R, dont la construction est illustrée Figure 2). Le nom est le Sievert (Sv). Ces facteurs de pondérations sont déduits le plus souvent de données animales, voire in vitro. Comme les W<sub>R</sub> sont sans dimension, l'unité en est encore le joule par kilogramme, mais il ne s'agit plus tout à fait d'une grandeur physique (cf. Tableau II) Parmi les évolutions pouvant avoir une implication importante dans la pratique, il faut noter l'évolution de la pondération des neutrons, qui passe de 10 à 20 dans une grande partie du spectre d'énergie. Enfin, la **dose efficace** permet de sommer les expositions à différents organes. Elle est égale à la somme des doses équivalentes aux organes pondérés par les facteurs de pondération des organes:

$$E = \sum_{R,T} W_T W_R D_{T,R}$$

A partir des facteurs de risque par organe, et donc de résultats épidémiologiques, la CIPR établit les contributions relatives des différents organes (tableau III).

Tableau II : Facteurs de pondération W<sub>R</sub>

Nature – énergie	W <sub>R</sub>
Photons (toutes les énergies)	1
Electrons, muons (toutes les énergies)	
Neutrons < 10 keV	5
10 keV-100 keV	10
100 keV-2 MeV	20
2 MeV-20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons > 20 MeV	5
Particules (α, fragments de fission, noyaux lourds)	20

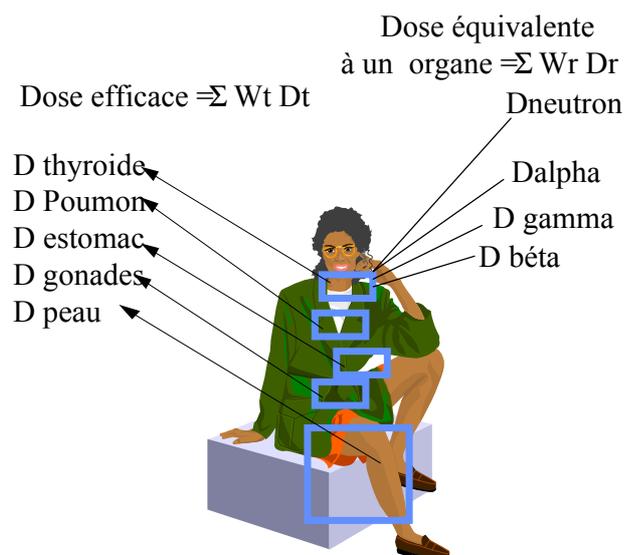


Figure 2 : Construction de la dose efficace

Tableau III : Facteurs de pondération  $W_T$

Tissus ou organes	$W_T$
Gonades	0,20
Moelle osseuse	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Seins	0,05
Foie	0,05
Oesophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface osseuse	0,01
Autres	0,05

La **dose efficace collective** est calculée en intégrant la dose efficace pour tous les individus exposés et sur toute la période d'exposition. Elle repose, comme d'ailleurs la dose équivalente sur l'hypothèse de linéarité de la relation dose effet. C'est un indicateur de risque collectif, mesuré en Homme-Sievert (h.Sv).

Une caractéristique importante du système de radioprotection apparaît ici, à savoir que l'outil de base de l'évaluation des pratiques de terrain, la dose, est un indicateur qui résulte des hypothèses sur l'évaluation du risque.

#### **Champ d'application et principes.**

Pour définir le champ d'application, la CIPR, suivie en cela par l'union Européenne, oppose clairement deux types d'activités humaines, pour lesquelles les règles différeront :

- les activités qui **augmentent** l'exposition par l'utilisation de sources existantes, par l'introduction de nouvelles sources (par définition maîtrisables), de nouvelles voies d'atteinte ou de nouveaux individus exposés ; ces activités sont appelées "**pratiques**". L'industrie nucléaire, la radiographie médicale, le contrôle de soudure par gammagraphie sont autant d'exemples typiques.

- les activités qui **diminuent** l'exposition en agissant sur la source, en modifiant les voies d'atteinte ou en diminuant l'exposition des individus ; ces activités sont appelées "**interventions**". Le terme applique à la gestion des accidents, mais aussi à la réduction des expositions à l'irradiation naturelle (cf. le cas du radon dans les habitations), et encore à la "gestion des situations héritées du passé" (cf. sites pollués par d'anciennes utilisations du radium).

Il n'est pas facile de classer les activités qui, sans utiliser les rayonnements, augmentent l'irradiation "naturelle". La navigation aérienne, l'exploitation de mines, les travaux dans des

caves exposées au radon sont autant de situations de ce type. La directive européenne fait obligation aux états membres de recenser ces situations, mais les laisse libres d'appliquer alors tout ou partie du système de radioprotection.

La maîtrise des effets aigus repose sur le maintien des doses au dessous des seuils correspondant. En revanche, la maîtrise du risque de cancérogenèse conduit à des principes plus complexes. Le système de protection est basé sur les trois principes, formalisés pour la première fois en 1977 :

- **Justification** : un procédé impliquant une exposition doit apporter un bénéfice net par rapport au détriment radiologique ;

- **Optimisation** : pour n'importe quelle source, les doses doivent être maintenues aussi basses que raisonnablement possible en tenant compte des considérations économiques et sociales .

- **Limitation** des doses (et des risques) : les expositions individuelles dues aux sources maîtrisables sont soumises aux limites de dose.

Le texte insiste fortement sur le fait que se trouver à des niveaux proches des limites ne relève pas de bonne pratiques. Ces limites sont **clairement définies comme la “ frontière de l'inacceptable ”**. Les dépasser est inacceptable, mais, en dessous, le niveau d'exposition n'est acceptable que si des efforts ont été faits et le principe d'optimisation correctement appliqué. La CIPR suggère que des doses très faibles peuvent être négligées. Elle ne fixe pas de valeurs, mais la directive européenne a déduit des niveaux d'exemption pour le suivi des activités.

Trois catégories de populations sont considérées : les travailleurs, le public et les patients. Pour les “ pratiques ”, ces trois principes s'appliquent à tous sauf aux patients. Pour les interventions, les limites ne s'appliquent pas. L'intervention doit être justifiée et optimisée. Des niveaux guide peuvent exister, mais ils ne sauraient avoir le statut de limites. Pour le radon, la CIPR 65 [CIPR 1994], suggère que des actions pourraient être recommandées, à partir d'un niveau d'action, situé entre 3 et 10 mSv par an (200 à 600 Bqm<sup>3</sup>). Des indications (fourchettes de valeurs dépendant des contre-mesures) sont fournies pour les situations accidentelles dans la CIPR 63 [CIPR 1995].

L'expérience montre toutefois que la valeur de 1 mSv a un très fort pouvoir d'attraction dans les situations post accidentelles. Pour les “ situations héritées du passé ”, la réflexion est en cours. Ce système permet de traiter des problèmes très hétérogènes dans un cadre conceptuel homogène. Il s'est constitué progressivement pour donner une cohérence à des approches traitées autrement au cas par cas. La notion récente d'intervention appliquée à l'exposition renforcée à l'irradiation naturelle devrait permettre de traiter de façon homogène ces situations, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. En revanche, les trois principes ont maintenant vingt ans. La CIPR en entreprend périodiquement l'analyse critique, et une nouvelle réflexion est en cours.

#### **Les valeurs limites**

Pour les **travailleurs**, la CIPR fonde les limites sur une évaluation du risque, et elle propose une dose moyenne annuelle de 20 mSv sur une période de 5 ans, avec pas plus de 50 mSv en une année. Pour choisir cette valeur, la CIPR a calculé les conséquences sur plusieurs critères d'une exposition pendant la vie professionnelle de 18 à 65 ans à des doses annuelles de 10, 20, 30 et 50 mSv. On note que le risque pour 1 an d'exposition à 20 mSv est d'environ  $10^{-3}$  (décès par cancer radio-induit ou détriment équivalent suite à des cancers non létaux ou des maladies héréditaires), valeur élevée, effectivement “ limite de l'inacceptable ” et qui justifie l'insistance de la CIPR pour un renforcement de l'optimisation. Malgré quelques nuances sur l'analyse décisionnelle, la baisse des valeurs est essentiellement la répercussion de la hausse des coefficients de risque. La V.L.E. globale (c'est à dire en “ dose efficace ”) garantit contre les effets aigus mais une limite supplémentaire 500 mSv (dose équivalente) est nécessaire pour l'organe “ surface de la peau ”. La même approche est utilisée pour fixer les **limites de dose pour les individus du public**. Elle conduit à proposer une limite de 1 mSv en 1 an ( soit en termes de risque sur la vie du à un d'exposition,  $7 \cdot 10^{-5}$ , valeur elle aussi assez élevée) et, dans des circonstances exceptionnelles, 5 mSv en un an à condition que la moyenne de 1 mSv/an soit respectée sur 5 ans.

#### **La mise en oeuvre**

La CIPR attache une très grande importance à la mise en oeuvre pratique de ses recommandations. Des dispositions précisent par exemple les obligations des autorités, celles des opérateurs, ou les modes d'évaluation des doses. Parmi les premières, la CIPR mentionne la nécessité de vérifier l'application du principe de justification, et celle de s'assurer de l'existence de formations efficaces et valides en radioprotection. La définition éventuelle de "contraintes de dose", valeurs inférieures

aux limites, par lesquelles les autorités doivent éviter qu'une optimisation, dont tous les paramètres sont libres, conduite à des doses individuelles indésirables, a été laissée au choix des autorités. La contrainte doit garantir que l'optimisation ne conduise pas à des doses individuelles trop élevées relativement à l'équité (certains individus seraient exposés près du maximum autorisé, d'autres pas du tout), au cumul des sources (des individus exposés simultanément à plusieurs sources pourraient avoir des doses élevées) ou à l'état de l'art en matière de radioprotection (il faut inciter les opérateurs à avoir de "bonnes pratiques"). Il est entendu pour la CIPR que, dans une forte proportion, le niveau réel de protection découlera de la mise en œuvre des contraintes. Les opérateurs ont des obligations de moyens. Certaines sont assez générales, comme le développement d'une culture de sûreté et la création d'une organisation dans laquelle les questions de radioprotection ont une place dédiée. D'autres sont plus précises. Il s'agit par exemple de l'obligation d'utiliser une unité de protection et d'hygiène professionnelle appelée souvent "unité de protection radiologique". Un autre exemple est celui de la classification des locaux professionnels.

#### **Impact de la nouvelle directive européenne**

Parmi les évolutions décrites ci-avant, la diminution des Valeurs Limites d'Exposition a surtout retenu l'attention, mais il ne s'agit pas pour autant du seul changement entre la directive précédente et celle de 1996, et encore moins de celui qui devrait avoir le plus d'impact sur l'activité industrielle et médicale. En France, le nombre des travailleurs au-dessus de 20 mSv était de l'ordre du millier sur 250 000 environ vers 1996 et il est de l'ordre de la centaine aujourd'hui. En revanche, l'extension du domaine d'application aux activités professionnelles conduisant à des expositions aux sources naturelles (cf. par ex. travail dans les mines, les établissements thermaux, l'exploitation de lignes aériennes, les expositions au radon dans les locaux professionnels...) constitue un enjeu important et mal identifié.

L'une des évolutions les plus importantes est l'accent mis sur les pratiques concrètes de radioprotection, en poussant à plus de rigueur dans l'exécution des actions et à plus de rigueur dans leur évaluation. Le texte contient des dispositions plus nombreuses sur les rôles et les responsabilités des employeurs ou exploitants, mais les exigences attendues de la part des " Etats membres " et de leurs autorités sont aussi renforcées. Le texte actuel vise, par de nombreuses dispositions, à rendre plus impérieuse et mieux encadrée cette " obligation de moyens " que constitue l'optimisation. La directive de la Communauté Européenne et les réflexions sur la maîtrise des expositions des travailleurs extérieurs relèvent de cette logique

### **Principales caractéristiques du système de gestion**

#### **Evolution et efficacité des pratiques de terrain**

Le système décrit ci-avant repose en grande partie sur la mise en œuvre sur le terrain des pratiques d'optimisation, obligation de moyen et non de résultat, et de ce fait difficile à contrôler. Des doses proches des limites seraient la preuve de l'échec du système. Sur ce plan, les chiffres disponibles montrent au contraire qu'il a fonctionné. Qu'il s'agisse de l'industrie nucléaire ou du travail en milieu hospitalier, la V.L.E. actuelle n'est approchée que dans des conditions rares, qui relèvent de l'incident.

L'exposition des travailleurs par irradiation peut être mesurée individuellement, grâce à un "dosimètre". Les statistiques ne peuvent aujourd'hui être établies avec précision, et c'est un des enjeux actuels que de construire un système national de recueil. Sur les 250 000 personnes surveillées en France une synthèse OPRI/IPSN de 1997 a montré que la majorité des travailleurs ainsi surveillés est employé dans le secteur médical (près de 140 000), puis dans le secteur nucléaire (près de 65 000). Le secteur des industries non nucléaires diverses, (chimie, quand on utilise des matières radioactives, soudure au thorium, mais surtout contrôle non destructif par rayons gamma), n'est cependant pas négligeable: près de 22 000 personnes. Il ne faut non plus oublier l'enseignement et la recherche (près de 15 000). Dans un proche avenir, les personnels navigants des compagnies aériennes, exposés aux radiations de la haute altitude, vont être aussi suivis. La nouvelle directive européenne sur la radioprotection indique en effet que leurs doses annuelles, qui sont de l'ordre de 2 mSv/an, doivent être considérées comme " attribuables à l'activité humaine ". Même dans le secteur considéré comme le plus exposé, celui des prestataires itinérants de l'industrie nucléaire la dose moyenne reste de l'ordre de 3,5 mSv, plus élevée que la moyenne globale, mais nettement inférieure à la Valeur Limite d'Exposition. En 1997, restaient un

peu plus de 400 personnes avaient reçu une dose excédant 20 mSv par an, c'est à dire la dose maximale admissible pour un travailleur du nucléaire à partir de l'an 2000. Elles travaillaient en majorité dans le secteur de l'industrie nucléaire, avec toutefois un peu plus de 100 personnes dans le secteur médical. Ce nombre a décru ces dernières années était encore de 1000 personnes en 1995.

Autre point positif, en dépit de difficultés d'appréhension, la gestion simultanée des expositions dus aux pratiques et à l'irradiation naturelle, celle des travailleurs du public et des patients s'est avérée possible. Ainsi, face au Radon, la quasi totalité des pays européens a défini une ligne de conduite, même si certaines politiques nationales sont plus ambitieuses que d'autres [MASSUELLE 96].

Quant aux expositions des patients lors d'examens de radiodiagnostic, la nouvelle directive européenne doit permettre de profiter de l'expérience des pays les plus avancés.

Quoique les doses moyennes aient toujours été nettement inférieures aux V.L.E., le développement de l'optimisation a été lent. La formulation du principe, en 1976, était déjà le résultat d'une maturation des idées qui s'est étalée sur une période importante. La réflexion sur sa mise en oeuvre n'a pas eu de portée pratique immédiate. Ainsi les premiers travaux ont porté sur le "valeur monétaire de l'homme Sievert", transposition de la question de la valeur de la vie humaine. Ce n'est qu'après un certain nombre d'études de cas, rétrospectives puis prospectives, que l'approche a été appliquée aux grands chantiers "dosants" d'EdF et des autres électriciens à la fin des années 80. Le changement des générateurs de vapeur peut être considéré comme une étape clé dans la généralisation de l'approche ALARA.

Il faut remarquer que ces "bonnes pratiques" ne sont pas aussi répandues qu'il le faudrait, et que, là où elles le sont, elles ont requis plus d'une décennie avant d'être appliquées [HUBERT 1994]. La maîtrise des expositions des patients a vu des efforts plus inégaux et les doses dues au radiodiagnostic en Europe vont de 1,65 mSv (France) à 0,3 mSv (Pays-Bas) [UNSCEAR 1994]. Il semble qu'il y ait là un gisement de réduction de dose avec 99 000 hSv pour lesquels une réduction d'un facteur 2 au minimum paraît à portée avec des coûts très faibles. Au sein du milieu hospitalier, la gestion prévisionnelle des doses commence à se mettre en place sur des thèmes très particuliers (interventions chirurgicales sous rayonnement par exemple). Dans l'industrie non nucléaire, les démarches d'optimisation paraissent très rares. Vu d'un autre angle, il faut aussi constater que l'approche et surtout ses implications pratiques ne sont pas comprises de l'ensemble des acteurs de l'entreprise ou des autorités. Evaluer l'obligation réglementaire que constitue le principe d'optimisation reste un exercice nouveau, pour lequel il existe peu de précédents ou de références [HUBERT 1993].

Des progrès restent à faire pour construire améliorer l'adéquation des efforts de radioprotection aux enjeux dosimétriques. L'effort de réduction des doses, de contrôle et d'expertise est plus important sur les travailleurs exposés ( pour 100 hSv) ou sur le public autour des installations (de l'ordre de 60 hSv) que sur le radon (environ 70 000 hSv) ou le radiodiagnostic (presque 100 000 hSv).

Un enseignement important de l'examen de ce que l'on appelle la " radioprotection opérationnelle " est la relative lenteur des évolutions. Elle démontre qu'une règle de gestion des risques, même bien acceptée dans le principe, ne se met pas en oeuvre du jour où elle est édictée. Le système complet de gestion des risques, la circulation de l'information, ses règles opérationnelles, ses méthodes de travail et ses outils doivent être adaptés, et assimilés par tous les acteurs pour permettre son application.

### **Les démarches originales**

Après le constat qu'un risque nul était inaccessible (cancérogène sans seuil, et présence d'un " fond " d'exposition naturelle), l'étape suivante a vu l'abandon de l'idée qu'un niveau de dose " acceptable " ou " négligeable " pouvait être défini. La CIPR ne s'est pas contentée de définir un niveau à partir duquel le risque serait " inacceptable " (près de 1 pour 1000 par an pour un travailleur, qui correspond à la V.L.E.). Elle a indiqué qu'en deçà, une dose qui pouvait être réduite facilement n'était pas acceptable. Une dose acceptable est ainsi une dose inférieure aux limites et qui a été réduite " aussi bas que raisonnablement possible ". L'acceptabilité ne se juge donc plus sur un niveau de risque (le niveau peut exclure, mais pas prouver l'acceptabilité), mais sur la mise en oeuvre d'une pratique de gestion. Cette approche, que l'on peut qualifier de " gestion du risque en risque acceptable " s'est construite graduellement, et elle est très féconde. On note qu'elle est prônée dans d'autres domaines, dont certains peuvent même être éloignés de la logique des

cancérogènes sans seuil (par exemple risque industriel majeur au Royaume Uni [HSE 1989], aux Pays Bas [KUIJEN 1988], ou en Suisse [CFS 1991]).

De tels principes de gestion ne sont pas absolument originaux, et ils auraient pu rester des principes d'action sans implications concrètes. Pour le risque radiologique, l'élément qui a sans doute permis de passer à une mise en œuvre plus concrète est sans doute la mise à la disposition des opérateurs et des autorités d'un ensemble d'outils conceptuels, scientifiques, techniques et opérationnels pour l'évaluation et la gestion :

- le concept de dose efficace, et plus généralement les concepts de dose,
- la relation dose effet,
- la définition d'un homme standard (poids des organes , débit respiratoire etc...),
- la publication de coefficients permettant de passer des incorporations aux doses,
- des règles de standardisation de la dosimétrie,
- la réalisation de bilans de surveillance dosimétriques,
- des suivis dosimétriques en temps réel,
- un retour d'expérience organisé dans des entreprises,
- des " comités ALARA " (acronyme de As Low As Reasonably Achievable, expression du principe d'optimisation) pour la mise en place de l'optimisation dans les entreprises,

Il faut enfin citer les instituts d'expertise en appui des pouvoirs publics, eux-mêmes soutenus par une construction internationale de l'expertise. En effet, une infrastructure lourde a été mise en place aux niveaux nationaux et internationaux pour développer les outils d'évaluation et faire circuler l'information. L'analyse des pratiques de terrain n'a pas été négligée dans le développement de recommandations. L'adéquation entre un principe de gestion, la gestion en risque acceptable et pratique de l'optimisation, avec ses outils de tout type permettant sa mise en œuvre et son suivi est sans doute l'aspect le plus original de la radioprotection [HUBERT1990].

#### **Les choix sujets à discussion**

Il est difficile de porter un regard critique sur la gestion du risque radiologique, sans que le sujet ne soit obscurci par le débat sur l'industrie nucléaire. Les questions associées aux rayonnements sont rarement regardées en tant que telles. L'importance considérable du potentiel de risque associé à cette industrie explique cette situation, mais elle n'est pas cohérente avec le bilan des doses aujourd'hui. La gestion du risque radiologique souffre ainsi d'un biais de gestion qui porte sur les préoccupations du public, les efforts de l'administration, et même l'effort de recherche. Ainsi, des études épidémiologiques ont lieu autour de sites nucléaires, mais il y en a très peu sur les personnes soumises au radiodiagnostic (par exemple dépistage chez le nourrisson de la luxation congénitale de la hanche), et très peu sur les irradiations thérapeutiques. L'examen critique qui suit laisse de côté les aspects liés à l'industrie nucléaire et se focalise sur le système de radioprotection.

Le système peut être critiqué à la fois pour sa lourdeur et un " excès de subtilité " (cf. débats à l'occasion de [CE 1996]). De fait, l'ambition de traiter dans une logique d'action globale des situations aussi diverses que les incidents, le travail sur des matières nucléaires ou le radon dans les locaux administratifs demande beaucoup d'agilité intellectuelle. Toutefois, cette diversité est irréductible et la seule alternative est de cloisonner ces types de gestion.

Le principe d'optimisation porte aussi en lui les germes d'une certaine lourdeur. Par exemple, la comparaison à des limites peut se contenter de calculs sommaires mais majorants. L'optimisation requiert une estimation des doses et des risques " au plus précis ". En conséquence, ceci suppose un renforcement de l'expertise chez les opérateurs et au sein des autorités. Si cet investissement dans l'évaluation est indubitablement un prix à payer pour plus d'efficacité, il faut rester vigilant pour simplifier les approches dès que cela est possible. En réalité la théorie de l'optimisation elle-même offre des voies de régulation puisque le coût d'accès à l'information doit être pris en compte dans la recherche de l'optimum.

La séparation entre évaluation et gestion est parfois jugée trop ténue dans la mise en œuvre du système de radioprotection. Le fonctionnement, et l'efficacité du système reposent, on l'a vu, sur le lien étroit entre évaluation et gestion et les acteurs de terrain sont censés évaluer la situation et décider de la meilleure option. Le suivi en temps réel permet même de réviser la stratégie instantanément. Les outils conceptuels sont aussi ambigus. La relation dose effet est décrite comme outil de gestion, et non d'évaluation. La dose efficace, est elle aussi, conçue comme un outil de gestion, même si elle sert à évaluer l'efficacité des pratiques. Notons que la relation dose-effet,

avec ses simplifications, peut induire des actions sur des critères qui ne sont pas forcément conscients. Par exemple l'usage d'un coefficient de risque unique quels que soient le sexe et l'âge écarte d'emblée les politiques de maîtrise du risque qui les distinguent. Enfin, si l'UNSCEAR se consacre pleinement à l'évaluation, la CIPR revendique les deux rôles. En réalité, l'évaluation et la gestion, tels qu'ils sont pratiqués sur le terrain, le sont dans un cadre différent de celui de la définition des politiques, dans lequel la séparation des deux approches est prônée. L'évaluation faite sur le terrain est celle des doses, la gestion est l'application de règles prédéfinies. En amont, les domaines sont assez bien séparés, même si la CIPR est un lieu de rencontre entre ces deux perspectives.

Il reste qu'une évaluation faite dans une perspective scientifique (par exemple dimensionnement d'une étude épidémiologique, analyse de l'opportunité des mammographies) nécessite de revenir aux données de base et ne peut reposer sur la dose efficace et le coefficient de risque global. De même, pour les décisions qui ne portent pas sur la gestion de problèmes quotidiens (distribution préventive d'iode, critères de retour à la normale sur des sites pollués...), la séparation entre analyse du risque et prise de décision s'impose.

La dernière originalité du système est l'importance du rôle joué par une organisation non gouvernementale, la CIPR dont les membres sont cooptés et qui n'est donc soumise à aucun contrôle extérieur. Certains considèrent ce fonctionnement comme un gage d'indépendance, d'autres émettent des doutes sur la légitimité de la CIPR quand elle émet des règles de santé publique. Cependant les alternatives à une telle structure ne sont pas nombreuses : organisation intergouvernementale (Commission Européenne), association professionnelles, instances internationales (UNSCEAR). Il n'est pas certain qu'un positionnement idéal soit possible, mais on peut considérer qu'un certain équilibre est atteint dans la mesure où plusieurs types de structures interviennent en réalité dans la définition des modes de gestion des risques.

#### Conclusion

Le système de protection radiologique s'est construit progressivement sur une période de plus d'un siècle. Les avancées des connaissances scientifiques ont accompagné le développement de concepts et de règles de gestion. Les rayonnements sont aujourd'hui traités comme un cancérigène sans seuil (ou à " seuil inaccessible ") et ubiquitaire. Comme souvent dans ce cas, les Valeurs Limites d'Exposition ne visent pas un risque nul. Dans le cas des rayonnements, il est sans doute assez original d'avoir défini la V.L.E. comme frontière de l'inacceptable et d'exiger le maintien des doses " aussi bas que raisonnablement possible ". La force du système de radioprotection vient de ce que les moyens de réaliser au quotidien une telle " optimisation " sont disponibles. Pour ce faire, l'engagement des partenaires a été nécessaire, mais il ne faut pas négliger le rôle joué par des organisations internationales qui ont su devenir le point de passage des principales synthèses scientifiques.

On peut considérer ce système comme un exemple caractéristique de " gestion du risque en risque acceptable ", mais il ne s'agit pas forcément d'une solution adaptable à toutes les situations. Les options prises peuvent être contestées pour elles-mêmes, ou parce qu'elles ne s'adaptent pas à d'autres situations. En particulier, la possibilité de disposer d'un bilan dosimétrique est assez spécifique et l'équivalent n'est pas toujours disponible dans d'autres domaines. En tout état de cause, le fonctionnement de ce système est le produit d'une histoire assez ancienne, et l'enseignement principal de cette analyse est l'importance et la constance de l'effort qu'il faut fournir pour rendre opérationnels les principes de gestion que l'on se donne pour maîtriser un risque.

## II. Discussion avec le groupe d'experts

Q : A partir de quel moment s'est établi le consensus sur la forme de la fonction dose-réponse ?

D'autre part, tous les effets font-ils aujourd'hui l'objet d'un consensus ?

R : Certains effets ne sont pas contestés mais ont disparu du débat. Il s'agit par exemple des retards mentaux des enfants exposés in utero ou des effets sur la croissance. Les effets présents dans le champ du débat sont les effets génétiques et les cancers.

La relation dose-effet entre radiation et cancer a été établie à partir de données humaines dans les années 70. Cette relation permet de quantifier le risque. En termes de gestion, on a commencé à parler d'acceptabilité du risque et de limites non atteignables dans les années 70. La gestion a démarré avec des limites de type déterministe. On voulait que les doses soient suffisamment faibles pour qu'il n'existe pas d'effets déterministes. Jusque dans les années 60, la norme d'exposition aux rayonnements est restée le dixième de la dose d'apparition des érythèmes à la peau. Dans les années 50, d'autres phénomènes ont émergé et ont été pris en compte. Il est apparu que la norme ne donnait pas un risque nul et qu'elle devait être jugée en termes d'acceptabilité. La CIPR de 1958 a développé tous ces concepts. La prise en compte de la dose collective d'exposition des populations était fondée sur les effets génétiques, c'est-à-dire sur les effets sur la descendance. On supposait qu'il était indifférent d'avoir peu de gens très exposés, c'est-à-dire avec un matériel génétique très abîmé, ou beaucoup de personnes peu exposées, et on a pris en compte des doses collectives. Les limites étaient déterminées de façon à ce que le fardeau soit acceptable pour la société. Un peu plus tard, le même type de raisonnement s'est appliqué au cancer. Au niveau de l'individu, la probabilité de développer un cancer n'est jamais nulle. Il faut donc définir des limites à un niveau acceptable mais qui ne garantissent pas un risque nul. Pour déterminer ce risque acceptable, on se sert de la relation dose-effet. En 1972, la Commission Internationale de Protection Radiologique a sorti son système de gestion du risque tel qu'on le connaît aujourd'hui. Ce système repose sur trois principes. Premièrement, les limites ont pour but d'éliminer les effets aigus et de maintenir à un niveau acceptable les effets génétiques et les cancers. Le deuxième principe est que le respect des limites pour les effets sans seuil ne garantit pas l'acceptabilité. Il faut donc aller aussi bas que raisonnablement possible. Le troisième principe est le principe de justification : il ne faut pas exposer des gens lorsque cela ne sert à rien. Par exemple, il n'est pas justifié de doper des bijoux avec des neutrons pour qu'ils soient plus brillants.

Q : Le voisinage d'une centrale nucléaire pour les habitants se situe-t-il à la limite de ce dernier principe ?

R : La question de la justification se pose au niveau de l'énergie nucléaire. Est-il justifié d'avoir une telle pratique, c'est-à-dire une activité humaine qui crée des doses ? La réponse est éminemment politique.

Q : Le premier constat selon lequel, dans le domaine des effets génétiques, il n'existe pas d'exposition sans risque, et le second principe, qui consiste à aller aussi bas que possible (ALARA) sont-ils indissociables ? L'existence de ce second principe est-elle liée au consensus sur l'existence d'effets sans seuil ? Ce point est important du point de vue de l'extrapolation de cette logique au domaine de la téléphonie mobile.

R : Je pense qu'il existe une ambiguïté sur le mot risque. Dans le domaine des rayonnements ionisants, le risque était une certitude pour les chercheurs. La notion de dose a été inventée peu à peu dans le domaine des rayonnements ionisants. Il existe une grandeur physique qui est le J/kg déposé par les rayonnements ionisants. Cette grandeur ne sert ni à gérer, ni à évaluer. Une dose efficace, totalement artificielle, a été inventée. Cette dose reconstruite intègre les relations dose-effet. On a remarqué que les neutrons étaient plus efficaces que les rayons gamma, qui sont eux-mêmes un peu moins efficaces que les rayons X. Les rayonnements sont donc assez différents. Un système de pondération de ces rayonnements a été mis en place à partir de données in vitro et de données animales. Pour la gestion, la notion de dose équivalente au corps entier a été introduite afin de pouvoir comparer une irradiation au poumon, à la thyroïde ou ailleurs. La réponse de chacun de ces organes étant différente, la dose de chaque organe a été pondérée par cette réponse. La dose couramment utilisée pour les rayonnements ionisants s'appelle ainsi le Sievert. Il s'agit d'une équivalence en risque des expositions de différents organes à différents rayonnements.

Le système est allé récemment au bout de sa logique avec le radon puisqu'avec le radon, le calcul d'une dose n'est plus un préalable. En revanche, les chercheurs disposent d'un lien direct entre le produit concentration-temps auquel les personnes sont exposées et les risques. Par conséquent, ce produit concentration-temps est transformé en dose sur la base de l'équivalence en risque. L'unité d'exposition au radon, qui est le Bq/m<sup>3</sup> équivalent par le temps passé, donne un risque. La relation dose-effet d'Hiroshima permet de dire que tel risque est équivalent à tant de milliSieverts. Nous ne passons donc même plus par le calcul d'une dose au sens physique du terme.

En qui concerne la relation dose-effet, il me semble qu'il faut distinguer deux choses. En effet, il existe deux relations différentes. La première est celle que l'épidémiologiste ajuste sur ses données et la seconde est celle qui est utilisée pour prédire. Ces deux relations ont éventuellement la même valeur mais pas du tout le même statut.

Dans le domaine des rayonnements ionisants, j'ai classé trois types d'études. Certaines études permettent de quantifier. Dans ces études, les doses et les effets sont assez bien connus. Les intervalles de confiance sur les coefficients de risque sont relativement faibles. Il est donc possible de quantifier un coefficient de risque primaire. D'autres études ne disent rien du tout. Enfin, le troisième type d'études se situe entre les deux. Les travaux les plus connus de cette catégorie sont des études où on n'est pas capable de progresser pour quantifier la relation dose-effet parce que les doses sont trop mal connues ou parce que les intervalles de confiance sont trop élevés. Les études sur les cancers de la thyroïde après l'accident de Tchernobyl font partie de cette catégorie. Sans aucun doute, l'augmentation de ces cancers est prouvée. Pour autant, les chercheurs n'ont pas pu tirer grand chose sur la quantification des risques car les doses restent très mal connues. Certaines études sur les travailleurs du nucléaire sont un peu dans ce cas-là. Les intervalles de confiance sont tellement énormes qu'ils ne permettent pas de progresser dans les discussions sur la relation dose-effet. Il existe donc toute une série d'études qui ont un statut intermédiaire. Elles n'apportent que des informations qualitatives mais sont très importantes.

La construction de la relation dose-effet s'appuie sur trois éléments : le travail épidémiologique strict, le travail d'inférence et d'extrapolation, le choix et la décision sur la mesure de l'effet. Le travail épidémiologique strict peut intégrer certains problèmes de gestion. Si mes données épidémiologiques comportent un certain nombre de paramètres, il est impossible d'ajuster sur tous les paramètres. Des soucis de gestion peuvent faire que je vais m'intéresser davantage au paramètre de l'âge qu'aux autres. Le travail d'inférence et d'extrapolation peut être assez sophistiqué lors du travail sur des données humaines. Tout un travail est réalisé pour savoir si les relations sont transposables entre populations différentes et entre particules différentes. La relation dose-effet donnée est parfois différente de la relation ajustée sur les données. Pour les rayonnements ionisants, la relation observée dans les situations aiguës est divisée par deux pour l'application autour des sites ou aux travailleurs. Ceci s'explique par un effet réducteur de deux du débit de dose. Cet effet est à la fois endogène et exogène. D'une part, certaines courbes sont linéaires quadratiques. Dans certaines expérimentations animales, des points permettent de voir qu'à dose constante, suivant le débit, les animaux réagissent plus ou moins. Enfin, le travail de choix sur la mesure de l'effet est souvent négligé alors qu'il joue beaucoup. Dois-je prendre mon effet normatif sur une population mélangeant hommes et femmes, sur une population mélangeant des hommes issus de différentes régions du monde ? La variable retenue doit-elle être la perte d'espérance de vie, la probabilité d'induire un cancer sur la vie ? Selon les choix effectués, la différence peut-être de facteur trois ou quatre.

Le document 2 (p.7) [cf annexes] présente la façon dont est construite la relation dose-effet par les commissions. Les institutions, telles l'Académie des Sciences des Etats-Unis, l'UNSCEAR ou la CIPR vont construire une relation dose-effet en se fondant sur les évidences épidémiologiques, les évidences animales ou les évidences théoriques. L'Académie des Sciences des Etats-Unis montre les hypothèses qu'elle a écartées et montre le mélange de données animales et de données humaines, les règles de décision adoptées et celles qui n'ont pas été prises. Les stratégies des institutions sont un peu différentes. La CIPR et l'UNSCEAR se basent essentiellement sur Hiroshima et Nagasaki pour déterminer des coefficients. Ces derniers sont critiqués à partir d'autres études mais sans faire d'analyse conjointe. Ils sont ensuite modifiés à partir de données animales puis appliqués à un mélange de population. Les institutions peuvent ensuite affirmer : il y a 5 % de décès pour une exposition à 1 Sievert.

## Audition de J.P. VAUTRIN

### **Institut National de Recherche et de Sécurité**

#### **9- Réponse aux questions posées par écrit**

XIV- Des mesurages sont-ils réalisés actuellement en milieu professionnel afin de caractériser les expositions professionnelles liées aux téléphones mobiles et à leurs équipements notamment les stations de base ?

XV- Les résultats de ces mesurages ont-ils conduit à l'élaboration de règles particulières de prévention destinées à améliorer la sécurité des travailleurs ?

XVI- Quelles sont les bases techniques et normatives sur lesquelles se fonde votre Institut pour l'élaboration de ces règles de prévention, ces bases vous paraissent-elles satisfaisantes ?

L'INRS est géré par un conseil d'administration paritaire, composé de 18 membres titulaires, représentant les employeurs (Medef) et les organisations syndicales de salariés (CFDT, CFTC, CGC, CGT, CGT-FO). C'est une association loi de 1901, sans but lucratif et soumise au contrôle financier de l'Etat, constituée sous l'égide de la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CNAMTS). Il est un maillon essentiel du système français de prévention des risques professionnels. Le siège social est à Paris mais le centre de recherche est en Lorraine. Les missions de cet organisme sont la recherche, les études, l'information et la formation au profit des salariés et des entreprises du régime général de la Sécurité sociale. Il est important de noter que les autres domaines ne relèvent pas de sa compétence.

L'activité du groupe rayonnements non ionisants de l'INRS concerne plusieurs aspects :

- Tout d'abord et depuis plus de 20 ans, nous effectuons du mesurage sur sites industriels permettant de caractériser les expositions.
- Nous effectuons des études visant à améliorer la prévention. Pour le présent, deux études sont en cours : la caractérisation des champs émis par les soudeuses par résistance et l'amélioration des blindages de presses à haute fréquence.
- Nous participons à des groupes de travail en charge de la normalisation.
- Nous répondons à des sollicitations et à des questions en provenance de l'industrie et des acteurs de la prévention (services de prévention des CRAM, médecins du travail, CHSCT).
- Enfin, nous publions des articles et réalisons des supports divers à des fins d'information et de formation.

Nous ne sommes pas engagés sur des recherches. En revanche, nous avons la possibilité de conclure des partenariats par convention avec des organismes de recherche qualifiés. Nous avons également constitué un réseau d'information et d'assistance en médecine du travail. Enfin, et ceci est le plus intéressant pour vous, nous sommes en train de constituer un réseau de mesurage des rayonnements non ionisants sur le territoire français avec les centres de mesures physiques des CRAM (Caisses Régionales d'Assurance Maladie). Les agents de ces centres sont des ingénieurs et des techniciens qui interviennent dans l'évaluation des nuisances physiques (acoustique, éclairage, thermique, vibrations, ventilation...). Certains de ces centres sont dotés ou sont en train de se doter d'appareils de mesurage. Une formation relativement complète a été mise en place. Les agents ont assisté à des mesurages sur sites. Les mesures étant très spécifiques, dans un premier temps, au moins, nous garderons la responsabilité pleine et entière pour les mesures non traditionnelles. En effet, s'il est relativement facile d'effectuer des mesures autour d'un four à micro-ondes ou d'une presse HF, il est plus délicat de faire des mesures autour d'un radar. A terme, ces agents seront capables de pratiquer des mesures de champ électrique, de champ magnétique et de densité de puissance sur des sites industriels à proximité de la plupart des installations.

En ce qui concerne les radiotéléphones, nous n'avons pas l'intention de nous préoccuper des effets des téléphones mobiles à l'exception peut-être de ceux utilisés de façon intensive pour raisons professionnelles. En revanche, nous sommes concernés par les stations de base puisque nous avons reçu plusieurs sollicitations sur les interrogations qu'elles posent. A ma connaissance, les stations de base posent deux problèmes. Le premier concerne les inquiétudes manifestées par les travailleurs actifs au voisinage des stations auxquels il faut donner des réponses. A partir de notre expérience, nous pouvons les rassurer puisque les résultats des mesures sont de l'ordre de 1 V/m à une dizaine voire une quinzaine de mètres. Nous sommes donc bien loin des valeurs limites. Le second problème est celui des installateurs et des agents de maintenance qui sont amenés à intervenir sur ces stations de base et qui sont soumis à des champs plus importants. Pour nous, il ne s'agit pas d'une étude prioritaire. Dans le domaine des champs électromagnétiques en milieu industriel, il existe des sites potentiellement beaucoup plus dangereux aussi bien en champ statique qu'en champ hyperfréquence ou en champ radiofréquence. Je me souviens avoir relevé par le passé des champs électriques de 4 000 V/m à 27 MHz autour d'une presse HF servie par une opératrice ! La situation s'est bien améliorée puisque, aujourd'hui, il est très rare de trouver plus d'une centaine de V/m, ce qui se situe un peu au-dessus de la norme qui donne pour valeur limite de 61,4 V/m. La grande majorité des installations en soudage par effet diélectrique est en dessous de cette valeur. Les problèmes d'électrolyse de l'aluminium ont également fait l'objet d'un mesurage. Des champs relativement intenses sont constatés dont on ignore d'ailleurs le risque pour la santé.

Les fréquences les plus utilisées en presse haute fréquence, qu'il s'agisse du soudage, et du formage du PVC sont généralement 27,12 MHz et 13,6 MHz. Pour la polymérisation de colles et pour le séchage de bois, on utilise des fréquences de l'ordre de 5 à 6 MHz. Dans le domaine de l'électrolyse, les champs électriques sont très faibles et les champs magnétiques sont relativement importants car les courants sont très intenses alors que les tensions d'alimentation sont faibles, de l'ordre de 3 V.

## **II. discussion avec le groupe d'experts**

Q : Avez-vous reçu des questions émanant de travailleurs utilisant le téléphone mobile de façon intensive ?

R : Nous avons reçu plusieurs questions concernant les livreurs, qui téléphonent plus que la moyenne depuis leur camion ou camionnette. Il existe peut-être un petit problème à résoudre. La solution est souvent l'éloignement.

Q : Qu'est ce qui vous fait dire qu'il existe un problème ?

R : Ce terme est impropre. Si le radiotéléphone se trouve près du crâne et si l'exposition dure un certain temps, on peut se poser des questions, mais les personnes qui nous sollicitent ne se plaignent pas de manifestations thermiques. Elles se posent simplement des questions. Dans le domaine général des radiofréquences et de l'électromagnétisme, nous avons souvent reçu des sollicitations concernant des céphalées. En revanche, dans le domaine précis du radiotéléphone, l'INRS n'a pas reçu à ma connaissance des demandes de telle nature.

Q : A-t-on proposé aux livreurs d'extérioriser l'antenne hors de leur véhicule ?

R : Non, actuellement, nous sommes en train de bâtir des réponses types à un certain nombre de questions. Cette question fera l'objet d'une fiche.

Q : D'où émane la demande de mesurage sur les stations de base ?

R : Les services de prévention des CRAM se sont pour le moment peu intéressés à cela, à l'exception de la CRAM d'Alsace qui avait du personnel à proximité d'une station de base. La plupart des sollicitations émanent de médecins du travail, de CHSCT et des trois opérateurs (SFR, Bouygues et Itineris).

Q : Quelle procédure de mesure utilisez-vous ?

R : Une procédure élaborée par nos soins et qui devra être améliorée. Il faudrait établir des protocoles plus appropriés comme nous en avons établis pour les presses haute fréquence et pour les fours à induction. Pour le moment, en ce qui concerne la téléphonie, nous nous fondons sur notre expérience. Or il s'agit de problèmes très spécifiques qui nécessitent que tout le monde fasse la même chose.

Q : Vous êtes au courant de ce que fait l'ANFR dans ce domaine ?

R : Tout à fait. L'ANFR est parfaitement consciente des aspects relatifs aux effets éventuels des champs sur l'homme. Elle manifeste son intérêt en participant aux diverses réunions et en menant une réflexion interne sur le sujet.

Mais d'autres organismes oeuvrent dans ce domaine. Nous ne pouvons pas oublier la recommandation du 12 juillet 1999 du Conseil de l'Union Européenne, elle constitue une base, même si, selon nous, elle n'est pas forcément bien adaptée au milieu professionnel, pour lequel les normes sont moins sévères. Dans le milieu professionnel, l'une des références que nous avons utilisée au départ est la référence ICNIRP. Au niveau européen, la normalisation CENELEC 50166 /1 et 2 est apparue. Elle a été reprise au niveau français par le groupe de normes C 18-600/ C 18-610. Nous suivons ces deux références.

La recommandation du Conseil pour le public stipule 41,25 V/m pour 900 MHz et 58 V/m pour 1800 MHz. Dans le domaine professionnel, l'application des valeurs tirées de la norme C 18-610 donne respectivement 92,1 et 130 V/m pour ces mêmes fréquences utilisées en radiotéléphonie.

Q : Quelles sont les règles de bonnes pratiques pour limiter l'exposition lors de l'installation et la maintenance des stations de base ?

R : Nous nous basons sur l'ICNIRP. La première solution est l'éloignement. Nous préconisons de ne laisser circuler des personnes sur un site que lorsque cela est vraiment nécessaire. La deuxième solution est le balisage en deux ou trois zones :

- une zone verte, dans laquelle on peut rester de façon presque permanente ;
- une zone orange, où il faut être prudent ;
- une zone rouge, où il faudrait presque arrêter les émetteurs lorsqu'un agent y pénètre.

Q : Vous dites « presque » ?

R : En téléphonie mobile, les champs sont beaucoup plus faibles que ceux observés autour des émetteurs de la Tour Eiffel par exemple. Néanmoins, j'aurais tendance à préconiser l'arrêt des émetteurs de téléphonie quand un agent se trouve en zone rouge.

Q : Constatez-vous que la plupart des agents de maintenance demandent l'arrêt de l'antenne au moment où ils interviennent ?

R : Je n'ai pas suffisamment d'éléments pour vous répondre.

Q : A l'heure actuelle, il n'existe pas de règle officielle concernant cette question. Préconisez-vous plutôt pour votre part l'arrêt de la base pendant les interventions à partir d'une certaine valeur ?

R : Il est difficile de répondre par oui ou par non à ce type de question. Un agent effectuant un relevé de diagramme d'émissivité d'une antenne se trouvera relativement proche de l'émetteur mais devra laisser fonctionner l'émetteur. Il faut donc prendre en compte le type d'opération à effectuer. Avec

René de Sèze, nous souhaitons réfléchir à ce problème et analyser les différentes situations possibles. Je ne voudrais pas m'engager aujourd'hui.

Q : Il faudrait également tenir compte du fait que des agents de maintenance sont susceptibles d'intervenir sur plusieurs bases dans la journée.

R : Bien entendu. Nous préconisons de limiter le temps d'exposition et de respecter la règle des six minutes. Je voudrais dire que la protection individuelle est également une solution, mais je ne pense pas qu'elle soit adaptée aux émetteurs de téléphonie. En revanche, j'y suis favorable en ce qui concerne des émetteurs à haute puissance. Dans le domaine de la téléphonie, cela n'est pas recommandé car cela risquerait de créer une psychose inutile.

Enfin je voudrais souligner deux points. Premièrement, le problème des porteurs d'implants. Ce problème est moins crucial aujourd'hui mais il faut y veiller, en particulier pour les travailleurs qui portent des stimulateurs cardiaques. Deuxièmement, nous nous sommes rendu compte que les différents installateurs ne respectaient pas tous les mêmes consignes de sécurité. Cela pose un problème de concurrence déloyale entre les sociétés. L'établissement de consignes nationales ou européennes permettrait d'assainir la situation et par la-même d'assurer une meilleure sécurité des intervenants.

### Audition de Michèle RIVASI<sup>42</sup>

#### **Députée de la Drôme**

#### **I. Réponse aux questions posées par écrit**

1. Qu'est-ce que les élus de la Nation attendent de la communauté scientifique pour gérer de manière éclairée les possibles risques liés à la téléphonie mobile, dans le contexte actuel d'incertitude sur la réalité et l'ampleur de certaines conséquences biologiques et sanitaires de l'exposition aux CEM-RF ?

2. Considérez-vous que les données scientifiques actuelles sur les effets biologiques et sanitaires des CEM-RF justifient des conditions d'implantation des stations de base et d'usage des téléphones mobiles ?

Dans le domaine des téléphones mobiles et des antennes qui y sont associés, nous sommes énormément interpellés par les citoyens. Je reçois beaucoup de courrier de personnes qui s'interrogent sur la dangerosité du phénomène et se demandent s'ils doivent accepter l'installation de relais sur leur toit. J'ai même reçu un syndicat des copropriétaires et vous signale un article paru cette semaine dans le *Journal du Dimanche* qui note qu'un toit à Paris se négocie actuellement entre 20 000 et 110 000 francs. Les opérateurs embauchent des cabinets pour rechercher des toits libres.

Lorsque nous avons organisé le colloque à l'Assemblée Nationale, j'avais interpellé la Direction Générale de la Santé en m'étonnant qu'il n'existe aucune réglementation. Selon moi, la réglementation doit porter sur plusieurs points.

---

<sup>42</sup> Les commentaires de Michèle Rivasi sur la retranscription de l'entretien n'étaient pas encore parvenus au groupe d'experts à la date de remise du rapport.

Il existe une pluralité d'émetteurs. Il me semble qu'il serait opportun de réaliser des mesures sur ces émetteurs. Il faut donc décider qui effectuera ces mesures et qui les contrôlera. Il peut s'agir d'organismes de l'Etat s'ils sont compétents, identifiables et s'ils publient leurs résultats. Il est urgent de prendre des décisions en ce qui concerne les mesures. De même, il serait souhaitable que les moyens de mesures soient les mêmes d'un organisme à l'autre. En effet, actuellement, il existe une disparité dans les unités.

Le groupe d'études a fait un projet de proposition de loi qui comporte plusieurs aspects. Je ne veux pas entrer dans le débat d'experts. Ma position personnelle consiste à dire que les champs ont des effets biologiques et que nous n'avons pas suffisamment de recul pour constater si les champs ont des effets sur la santé. La recherche biologique va sans doute trouver des gènes qui sont soit radiosensibles, soit sensibles aux champs magnétiques. A mon avis, les concepts de seuils vont sauter dans quelques années. Dans le domaine de la radioactivité, le gène radiosensible est pratiquement identifié. Un seuil de tant de milliSieverts ne veut pas dire grand chose sur des gens radiosensibles. En ce qui concerne les antennes, il faut selon moi adopter une attitude prudente. Comme les Anglais, les Autrichiens ou d'autres ; il faudrait tout d'abord éviter d'installer des émetteurs à proximité des bâtiments publics. La proposition de loi visera à interdire la construction des relais à proximité des bâtiments publics et a fortiori des écoles.

En ce qui concerne les doses, il existe deux positions parmi les députés. La première consiste à dire que les valeurs de champs ne doivent pas dépasser une valeur limite fixée par décret. La deuxième consiste à fixer une valeur maximale de 1V/m au niveau des relais. Il faut également insister sur les problèmes de résonance qui peuvent apparaître en présence d'infrastructures métalliques qui peuvent renvoyer les faisceaux.

Le troisième problème est celui de l'information du public. Lorsque des émetteurs se trouvent dans des grandes surfaces, il me semble que le minimum est d'informer le public qu'il traverse un champ électromagnétique.

Le dernier chapitre porte sur la protection des travailleurs. Lorsque des agents interviennent, le minimum est qu'il existe des moyens de mesure. Il existe plusieurs possibilités. Il est possible d'établir des zones contrôlées définies par rapport à un émetteur standard. La deuxième solution consiste à équiper les travailleurs de moyens de mesure adéquats et performants afin qu'ils évaluent eux-mêmes la dangerosité de l'endroit où ils travaillent. En cas de danger, le travailleur peut donc demander l'arrêt des émissions. Il est possible de panacher ces deux solutions.

Je voudrais informer la Direction Générale de la Santé de l'urgence d'une réglementation. Lorsqu'il n'existe aucune réglementation, la loi de l'argent prévaut.

## **II Discussion avec le groupe d'experts**

Q : Vous avez concentré vos propos sur les stations de base et leur environnement proche. Or le champ reçu par une personne située à une distance très modeste d'une station est inférieur à celui reçu par un utilisateur de téléphone mobile. Extrapolez-vous vos propos à ce qui relève du téléphone proprement dit ?

R : En ce qui concerne le téléphone mobile, je voudrais responsabiliser les parents et faire une information sur l'achat de téléphones aux enfants. La publicité incitant les parents à acheter à leur enfant de quatre ou cinq ans un téléphone les reliant à leur papa, leur maman et à la maison est assez aberrante. Je ne souhaite pas interdire ce genre de pratique, mais il me semble qu'il faut dire aux parents que l'achat de mobiles pour les enfants peut engendrer des risques. Ensuite les parents doivent assumer leur choix. Mais il faut au moins effectuer une mission d'information. Par ailleurs, je suis bien consciente que le risque n'est pas à son maximum à proximité de l'émetteur. Cependant, il faut contrôler le champ d'émission des rayonnements lorsqu'un émetteur est installé.

Q : Effectivement, il faut éviter de diriger les faisceaux vers des bâtiments publics. Que préconisez-vous pour les autres sources de radiofréquence que la téléphonie mobile ? La tour Eiffel équivaut à 300 000 stations de base. Ici (NDLR : dans le bâtiment du Secrétariat d'Etat à la Santé),

du fait de la tour Eiffel, nous sommes exposés à un champ de l'ordre de 3 V/m. Vous parliez d'une valeur de 1 V/m pour les stations de base. Pouvez-vous nous expliquer sur quels critères a été déterminée cette valeur ? Dépend-elle de la fréquence des ondes ?

R : J'ai étudié les législations étrangères existantes ainsi que des propositions émanant de scientifiques. Cette valeur a paru se dégager. Le gouvernement suisse par exemple est proche de 3 V/m (NDLR : l'Ordonnance Fédérale fixe une valeur de 4V/m à 900 MHz et 6V/m à 1800 MHz). J'ai fait cette proposition car je me méfie des décrets. Quand vous êtes élu, vous votez une loi qui a une certaine logique. Si ensuite les valeurs sont fixées par décret, cela échappe à la logique des élus. Il ne faudrait pas que le décret impose des valeurs très hautes alors que nous souhaitons appliquer le principe de précaution.

Q : Si demain les connaissances scientifiques font apparaître qu'il faut diviser les valeurs par deux, allez-vous demander à ce que le Parlement soit à nouveau saisi ?

R : Il est possible de voter à nouveau. Il existe un système qui permet de modifier certains articles de la loi par vote.

Q : Une norme est toujours liée à l'état des connaissances à un moment donné. Imaginez-vous que le Parlement puisse fixer des valeurs limites pour toutes les réglementations qui protègent la santé et puisse les suivre régulièrement ?

R : Je vous donne raison sur le fond. Mais même si un certain niveau est fixé par la loi, les niveaux peuvent être diminués par la réglementation. En ce qui concerne la radioprotection, il est question de fixer une valeur limite de 1 mSv. Actuellement une discussion est en cours : cette valeur doit-elle être inscrite dans la loi ou dans un décret ? Nous aimerions que cette valeur apparaisse dans la loi générale sur la radioprotection. En effet, les décrets ne donnent pas lieu à discussion.

Q : Vous invoquiez le principe de précaution dans le domaine des stations de base et de la définition d'une valeur limite. Pensez-vous vraiment que le principe de précaution au sens strict, tel qu'il est défini le mieux possible au sens national ou international, s'applique à cette situation alors qu'il n'existe pas de soupçon d'un risque grave ?

R : Le niveau de 1 V/m émane de différents pays avec des variations très fortes d'un pays à l'autre. Par ailleurs, des études estiment qu'il peut exister des effets au niveau de certaines populations critiques. La fixation d'une valeur résulte donc d'un compromis. S'il est prouvé que même à ce niveau-là, il peut y avoir des effets, nous nous trouvons dans le cadre du risque acceptable.

R : La notion de risque acceptable nécessite que le risque soit quantifiable. Or pour l'instant, dans le domaine qui nous intéresse, le risque n'est pas quantifié. On ne peut pas affirmer que l'on va sauver tant de vies en passant de 40 V/m à 1V/m comme vous le suggérez. On ne sait même pas si cela sauvera la moindre vie.

R : Non, mais cela peut éliminer des perturbations au niveau de l'opinion publique. Les études sur les agents qui ont travaillé à proximité de ces relais nous apprennent des choses. Il s'agit d'un principe de prudence.

Q : Nous allons dire aux gens qu'il n'est pas bien de se situer dans un champ supérieur à 1 V/m. Or lorsque je suis passager d'un train ou d'un bus, je suis sans arrêt assis à côté de quelqu'un qui téléphone. Je pourrais alors dire à cette personne qu'elle me soumet à un champ de plus d'1 V/m lorsqu'elle téléphone et lui demander de descendre pour téléphoner. La loi doit être cohérente.

R : Le raisonnement serait le même pour 5 V ou 10 V...

*Note technique* : Non, car quand on est proche d'une personne qui téléphone, on reçoit facilement 1 V/m. En revanche, dans les mêmes conditions, on ne sera sans doute pas soumis à un champ de 5 ou 10 V/m, et certainement pas à 40 V/m, correspondant à la recommandation européenne.

R : Que savez-vous à 40 V/m ? Vous savez bien que de nombreuses critiques ont été formulées. Il est avéré que la plupart des études avaient été commanditées par les opérateurs de téléphonie mobile. Vous savez qu'il s'agit du grand problème des sciences à l'heure actuelle et pourtant vous rentrez complètement dans cette logique.

Q : Je voudrais revenir sur l'établissement de la norme de 41 V/m. La radio fréquence a fait l'objet de nombreuses études depuis les années 60 et 70. Les scientifiques ont tout d'abord cherché

des effets lésionnels immédiats à de très fortes valeurs de champs. Ensuite, ils ont regardé si ces champs entraînaient à long terme une cancérisation. Aucun effet de cancérisation n'a été mis en évidence. L'indice le plus sensible est la modification comportementale. Des chercheurs ont notamment mis en évidence des troubles de l'attention et de l'apprentissage chez le primate et le babouin. Ces effets sont induits par des niveaux dix fois supérieurs à 40 V/m. Un facteur de sécurité a donc été ajouté pour que même ces modifications comportementales ne puissent pas être produites.

Il faut être cohérent dans la réglementation. Regardez le problème des éthers de glycol aujourd'hui. Certaines séries d'éthers sont interdites dans les cosmétiques et les produits ménagers alors qu'ils ne sont présents qu'à très faible dose dans ces produits. En revanche, on tolère que des travailleurs soient soumis à des niveaux plus élevés. C'est incohérent. Quelle que soit la valeur retenue, nous serons obligés de tenir compte dans la réglementation des différentes circonstances d'exposition. Une valeur de 1 V/m dans l'état actuel des choses, c'est-à-dire tels que fonctionnent les téléphones mobiles et les autres sources de rayonnement, risque de soulever des problèmes.

R : Il peut y avoir des discussions sur les niveaux. Vous savez qu'une norme est le résultat de palabres entre une partie scientifique, une partie économique et une partie sociale. Il y a maintenant véritablement urgence. Je suis favorable à une réglementation sur ces antennes. Il ne faut pas laisser faire n'importe quoi n'importe où. Le rapport britannique est très intéressant et suscite beaucoup d'interrogations. Il existe des gens plus sensibles que d'autres. Il faut donc adopter une attitude prudente. C'est d'ailleurs dans ce sens que sont allés les Britanniques. Il faut effectuer un travail d'information et de signalisation des champs électromagnétiques auprès de la population. Il ne faut pas banaliser ce phénomène. Si nous ne sommes pas suffisamment rigoureux en amont, la pollution électromagnétique risque de devenir démente.

Q : Avez-vous des suggestions pour que des études scientifiques les plus indépendantes possibles soient menées en France ? Il s'agit d'une question générale. L'Assemblée Nationale doit donner les moyens de faire de la recherche indépendante dans des domaines où intérêts économiques et intérêts de santé peuvent diverger. Une des solutions, préconisée d'ailleurs par les Anglais, serait que les industriels ne versent pas l'argent directement au laboratoire mais à une autorité intermédiaire. Le Parlement a un rôle énorme à jouer en la matière. Il me paraît beaucoup plus important que le Parlement travaille là-dessus que sur la valeur limite à adopter pour les champs électromagnétiques.

R : C'est une question très difficile. Il faut une indépendance financière. Les contrats sur lesquels travaillent les laboratoires universitaires par exemple sont souvent financés par les opérateurs. Je serais favorable à la solution que vous évoquez, du moment que l'argent est ensuite réparti dans plusieurs laboratoires.

## Audition de Mesdames Gaëlle PATETTA et Carole MATRICON

### UFC - Que Choisir ?

#### 10- Réponse aux questions posées par écrit

XVII- Quels sont les principaux moyens d'information dont vous disposez sur les possibles risques pour la santé liés aux CEM-RF ? faites-vous confiance aux auteurs des rapports internationaux récents ? Comment pensez-vous que l'on peut améliorer l'information du public ?

XVIII- Quelles sont les mesures que vous préconisez au sujet de l'utilisation des téléphones mobiles et de l'implantation de leurs stations de base ? Quelles sont les raisons qui motivent ces demandes ?

Les principaux moyens d'information dont nous disposons sur les possibles risques pour la santé liés à la téléphonie mobile sont les publications de l'OMS, les publications scientifiques référencées, les publications destinées au grand public et les études spécifiques réalisées par des associations de consommateurs dans d'autres pays européens. Nous sommes liés à ces associations dans le cadre de l'ICRT, groupement d'associations de consommateurs qui font des tests en commun. Dans ce cadre, une association anglaise a effectué un test sur les kits mains libres et piétons. Ce test a fait l'objet d'une publication sur le site Internet de cette association. Il nous a beaucoup intéressés puisqu'il montre qu'il existe des problèmes avec ces kits.

*Note technique* : Le protocole utilisé pour ces tests ne paraît pas bon. Le kit piéton est à 99 % une bonne solution pour diminuer l'exposition. Il faudrait que les auteurs de cette étude anglaise soit confrontés aux spécialistes mondiaux de la mesure des champs associés aux téléphones mobiles. Le consensus scientifique aujourd'hui est que ces kits diminuent très sensiblement les niveaux reçus dans la tête. Mais il existe des différences parfois importantes dans leur efficacité, certains étant défectueux de par leur conception.

Prochainement, des tests seront réalisés par l'UFC - Que Choisir ? sur les téléphones mobiles. Ces tests incluront des mesures de rayonnements. Vous nous demandez par ailleurs si nous faisons confiance aux auteurs des rapports internationaux. Ces rapports nous semblent assez contradictoires. Il est difficile de savoir s'il existe un danger ou non. Une étude australienne montrant qu'il existait un danger a été évoquée dans la presse. Nous avons également relevé des contradictions entre la volonté de faire des études sérieuses et le fait que les groupes chargés de ces études étaient financées par les opérateurs ou les constructeurs. Cela nous paraît dangereux. En outre, les études manquent de globalité à l'heure actuelle. En effet, il existe d'autres sources de rayonnement que la téléphonie. Il serait intéressant de faire une étude prenant en compte l'exposition globale des consommateurs. Enfin, nous attendons déjà avec impatience les résultats de l'étude épidémiologique qui vient d'être lancée par l'OMS.

## II. discussion avec le groupe d'experts

Q : Je suis un peu étonné par vos propos. Je comprends que vous soyez un peu perdus en lisant les résultats des études individuelles. Nous-mêmes, nous le sommes. Il semble cependant que les rapports internationaux sont beaucoup plus homogènes. Les rapports internationaux proposent une masse d'informations digérée et des conclusions. Ils ne se situent pas sur le même plan que les

études individuelles ou les articles de journaux. Les conclusions de tous ces rapports sont qu'il n'existe pas de risque évident pour la santé.

R : Les comptes-rendus de la presse mettent au même niveau les études individuelles et les rapports internationaux. Pour les scientifiques de notre association, il est parfaitement évident qu'on ne peut mettre sur le même plan ces deux types d'information. Il n'en demeure pas moins qu'il existe un problème d'information vis-à-vis des consommateurs. Des efforts des pouvoirs publics sont nécessaires car les informations sont reçues au même niveau par les consommateurs qu'elles émanent de rapports internationaux ou d'études individuelles. La perception du danger par les citoyens est sans doute supérieure au danger réel. Si le consommateur utilise le téléphone, il va accepter dans une certaine mesure de prendre un risque. En revanche, il n'acceptera pas qu'une antenne relai implantée près de chez lui le soumette à un risque.

Q : Vous souhaitez donc que l'information fasse état des connaissances scientifiques et des incertitudes qui demeurent. De quelles autres informations devraient disposer selon vous le public et les consommateurs ?

R : En ce qui concerne l'information des consommateurs sur le niveau de rayonnement des téléphones, nous souhaiterions insister sur la nécessité pour les constructeurs et les opérateurs de téléphonie mobile d'informer les consommateurs sur le niveau de rayonnement des appareils par des mentions sur ceux-ci ainsi que dans les documents remis (notice d'utilisation, contrat d'abonnement ...). Une information large devrait conduire à une meilleure compréhension des risques par les consommateurs. Il me semble que les fabricants ont déjà pris une initiative sur ce plan<sup>43</sup>. Il me semble qu'il faudrait également mettre en œuvre des mesures préventives. En particulier, il faudrait éviter d'installer des antennes à proximité d'établissements recevant des enfants.

Q : Ne faudrait-il pas plutôt éviter que les écoles se trouvent dans le faisceau, car les mesures indiquent que plus la proximité de la station de base est grande, plus le rayonnement est faible au sol ou dans les bâtiments, sous le faisceau ? Pensez-vous qu'il soit possible de faire passer l'idée que le rayonnement perçu est quasi nul pour les personnes situées dans le bâtiment sur lequel est implantée l'antenne et qu'ils est plus importants pour les personnes situées dans le faisceau à 200 ou 300 mètres de la source ? Ainsi, par exemple, dans les écoles parisiennes, le rayonnement lié aux stations FM est supérieur à celui émanant des stations de base de téléphonie mobile.

R : Tout à fait. Il suffit de faire un travail d'information. Je pense qu'il faudrait que le public dispose d'une information claire et globale sur les champs électromagnétiques afin qu'il relativise les choses. Je crois savoir qu'une proposition de loi visant à encadrer l'utilisation des téléphones et l'installation des antennes doit être déposée.

Je voudrais insister également sur l'utilisation des téléphones par les enfants. Il me semble que rien n'est fait de ce côté-là. Les opérateurs proposent des forfaits destinés aux enfants. Une étude de la Sofres réalisée en 1999 montre que 4 % des enfants de 8 à 10 ans et 14 % des enfants de 11 à 13 ans possédaient déjà un téléphone mobile. Depuis cette date, les chiffres ont encore sans doute augmenté. Actuellement, les opérateurs ne sont plus en phase de recrutement de leur clientèle. Si les téléphones représentent un danger potentiel plus important pour les enfants, il faudrait faire quelque chose auprès des opérateurs pour que ce type de forfait disparaisse.

Q : Vous avez évoqué dans les documents que vous nous remettez, le problème du téléphone au volant. Le kit main libre pose un vrai problème. En effet, dans l'état actuel de la réglementation, le code de la route ne permet pas de sanctionner les utilisateurs de ces équipements. Or des études scientifiques montrent que le risque d'accident grave est de quatre à six fois plus élevé lorsque le conducteur téléphone avec ce kit. Ce risque est comparable à celui pris par un conducteur qui roule avec un taux d'alcoolémie de 0,8g/l de sang. Avez-vous des propositions dans ce domaine ?

R : Effectivement, nous souhaiterions une information des consommateurs sur ce sujet, l'adoption de textes répressifs et la mise en place de contrôles effectifs. Par ailleurs, je voulais vous informer que pour le moment, nous n'avons pas reçu de plaintes de consommateurs portant sur des symptômes éventuellement liés à la téléphonie mobile. Le dernier point que je voulais souligner est

---

<sup>43</sup> Note technique : Cette action a été développée parallèlement à un souhait exprimé par les pouvoirs publics dans différents pays, sans relation directe. Un protocole est en cours de finalisation.

que le système du forfait incite à téléphoner pour la durée totale payée et donc parfois à téléphoner plus que de raison.

En ce qui concerne les mesures techniques, nous demandons une diminution du niveau de rayonnement. Ce niveau doit être contrôlé par un organisme indépendant et mesuré par une méthode avalisée et mentionnée sur l'appareil. En ce qui concerne les antennes relais, la France applique les textes européens. D'autres pays sont beaucoup plus restrictifs. Cela suscite des interrogations. Au nom du principe de précaution, il me semblerait cohérent d'adopter une norme aussi basse que possible afin de prévenir les risques éventuels.

Q : Selon vous, pour informer correctement le consommateur sur la qualité de l'appareil qu'il achète, vaudrait-il mieux exprimer le niveau de rayonnement en valeur ou en pourcentage de la norme recommandée ? En effet, la valeur risque d'être difficile à appréhender car l'unité de mesure est totalement incompréhensible pour le citoyen moyen.

R : Nous n'avons pas encore déterminé une position sur ce sujet.

Q : A ma connaissance, vous n'avez pas publié dans votre revue de long article sur les effets des téléphones mobiles sur la santé. Un article sur ce sujet est-il en cours de préparation ?

R : Lors des prochains tests sur les téléphones mobiles, un article sera probablement consacré à ce sujet d'actualité. Le dossier sortira sans doute dans les prochains mois. Enfin, je voulais souligner que le service juridique de notre association s'est penché sur les publicités concernant les articles de protection, mais nous ne pensons pas consacrer de dossier à ce type de systèmes..

*Remarque technique* : Ces articles sont soit inefficaces, soit contre productifs. Lorsqu'ils diminuent effectivement la puissance rayonnée du téléphone, le téléphone va automatiquement augmenter sa puissance vers son niveau maximal donc le bénéfice est nul pour l'utilisateur. Le résultat global d'un développement de tels articles serait la nécessité d'augmenter le nombre de stations de base pour maintenir le fonctionnement des réseaux.

## **Audition du Professeur Jacques FOURCADE,**

**Président du Comité Consultatif de Protection des Personnes dans la Recherche  
Biomédicale de Nîmes.**

**Q : La recherche biomédicale dans le domaine des risques pour la santé liés à l'usage des téléphones mobiles est-elle génératrice de contraintes particulières et quelles sont ces contraintes.**

R : Par les textes figurant dans la loi dite Huriet-Sérusclat du 20 décembre 1988, l'Etat a organisé la réalisation en France de la recherche biomédicale.

Ces règles étant supposées connues, le texte qui suit s'applique essentiellement à exposer, à leur lumière, les règles de fonctionnement et les critères de jugement d'un CCPPRB, au travers de sa pratique et de son expérience.

### **I. Conditions générales de la recherche**

Certaines règles s'imposent dans tous les cas, qu'il s'agisse ou non d'une recherche avec bénéfice individuel direct pour les sujets inclus.

#### **Nécessité d'élaborer un protocole répondant à des règles scientifiques**

Bien qu'un CCPPRB n'ait pas dans ses missions explicites la vérification de l'aspect scientifique de la recherche, ce contrôle s'impose à lui de facto et constitue même un prérequis. En effet, la méthodologie d'une étude est capitale, dans la mesure où un protocole mal bâti, dont l'exploitation se révélerait impossible ou biaisée, ne serait d'aucun bénéfice et induirait, même si les risques de sa

réalisation étaient mineurs ou à la limite nuls, un rapport risque/bénéfice défavorable (ne serait-ce que par les contraintes appliquées aux sujets inclus, inhérentes à toute action de recherche), et donc injustifiable.

A ce titre, il ne peut y avoir de recherche scientifique prospective sans élaboration préalable d'un protocole. Celui-ci doit comporter:

- la problématique de la question soulevée;
- l'état actuel des connaissances;
- la justification argumentée de l'étude, en termes d'avancées scientifiques et/ou de rentabilité sur le plan de la santé;
- des objectifs et des méthodes clairement définis.

Ainsi, doivent être déterminés a priori:

- la durée d'inclusion;
- le nombre de sujets à inclure;
- les critères d'inclusion et d'exclusion;
- les critères de surveillance et de sortie de l'étude, ainsi que la conduite de 'sauvetage' à l'égard des sujets exclus;
- la durée de l'étude;
- l'analyse éventuelle en cours d'étude, en vue de déterminer si la poursuite du protocole est pertinente;
- les critères d'analyse des résultats.

Doit également être prouvée la faisabilité pratique du protocole. Celle-ci découle des possibilités réelles de recrutement des sujets par les investigateurs, qui doit être réaliste, comparée au nombre de sujets dont l'inclusion est prévue dans un laps de temps donné.

### **Nécessité d'assurer la protection des sujets**

Il s'agit là de la principale mission confiée aux CCPPRB. Ceux-ci doivent s'assurer:

- que le risque engendré par la recherche projetée reste proportionné par rapport au bénéfice prévisible (la loi indique plus précisément 'hors de proportion'). Ces risques ne sont pas forcément nuls, mais ne doivent pas être supérieurs à ceux de la conduite habituelle vis-à-vis de la même situation pathologique, le risque supplémentaire constitué par la part d'inconnu devant être compensé par le bénéfice potentiel escompté, lié aux agents testés, et par un suivi plus étroit. Ainsi, lorsqu'une recherche s'accompagne a priori d'un bénéfice potentiel direct pour les sujets inclus, on peut considérer un risque parfois élevé comme acceptable pour une pathologie gravissime sans solution curable reconnue, et refuser par contre un risque même modeste pour une pathologie bénigne déjà curable par les moyens actuels.

- de la compétence des investigateurs dans le champ exploré (d'où l'utilité du curriculum vitæ);

- de l'existence d'un prérequis correct, reposant sur des études précliniques correctes (expérimentation animale, tests tissulaires, études toxicologiques...) et sur le respect des phases croissantes de la recherche.

Les règles pour tester un appareillage, qu'il soit à destination biomédicale ou qu'il s'agisse des répercussions éventuelles sur la santé d'un appareillage grand public, ne sont pas fondamentalement différentes de celles applicables à un médicament. S'il s'agit d'un appareillage déjà diffusé, les normes auxquelles il satisfait (normes européennes par exemple) doivent être clairement établies. Si elles n'ont pas encore été obtenues, on est dans la situation d'un prototype, analogue à celle d'un médicament avant la délivrance de l'AMM. Dans ce cas, les garanties auxquelles s'engage le fabricant de l'appareillage ou de ses diverses pièces doivent être fournies: par exemple les certificats de conformité concernant la protection électrique ou contre les rayonnements. De son côté, l'investigateur doit également s'engager à utiliser l'appareil selon les recommandations du fabricant, ou bien indiquer clairement s'il entend s'en écarter (longueur d'onde, puissance, durée d'exposition...) dans le cadre d'une utilisation non conventionnelle, situation comparable à la recherche d'une nouvelle AMM pour un médicament déjà connu.

### **Nécessité de garantir la déontologie du projet.**

Les règles qui s'appliquent à la recherche clinique ne sont pas fondamentalement différentes des 'bonnes pratiques cliniques' ou de la 'qualité des soins', qui s'appliquent d'ores et déjà à tout acte médical, la recherche ne constituant à cet égard qu'un cas particulier, mais non original de la démarche médicale.

#### 1) Droit du patient à l'information et à l'expression de son consentement.

Les sujets inclus ont droit à une information la plus précise et pertinente possible, pas forcément complète, mais en tout état de cause honnête et non mensongère, par tromperie ou par omission, sur les buts recherchés, les contraintes subies et les risques prévisibles encourus. Une évolution récente de la jurisprudence, applicable à tout acte pouvant mettre en cause l'intégrité du sujet, met en demeure les médecins d'indiquer, non seulement les effets secondaires les plus habituels, mais également les effets secondaires plus rares, même exceptionnels, et notamment les plus graves, pour peu qu'on ait eu connaissance de par la littérature de leur survenue. Cette règle peut paraître contraignante et exagérée, dans la mesure où elle peut être vécue comme extrêmement dissuasive pour les sujets, tant dans la recherche que dans les circonstances habituelles. Elle est en fait une règle de prudence qui, si elle peut comporter des aménagements pour les actes de soins ou de diagnostic courants, doit s'imposer fortement dès qu'on est dans un protocole de recherche, notamment s'il s'agit d'une recherche sans bénéfice thérapeutique immédiat, pour laquelle le rapport bénéfice/risque est obligatoirement toujours défavorable.

L'information doit faire l'objet d'un texte écrit suffisamment explicite, qui n'exclut pas de solliciter de la part des sujets des questions supplémentaires, afin de pouvoir leur apporter les réponses appropriées. Par ailleurs, un temps de réflexion suffisant devrait être laissé au sujet, avant de solliciter l'expression par écrit de son consentement.

#### 2) Nécessité de la validité du but de la recherche

On peut imaginer une recherche répondant à des critères scientifiques, respectant la sécurité des sujets inclus, ainsi que le recueil de leur consentement, mais dont le but serait sans le moindre bénéfice, immédiat (études avec bénéfice individuel direct) ou à long terme (études sans bénéfice individuel direct) dans le domaine de la santé. C'est pourquoi l'article L. 209.2 de la loi stipule que toute recherche biomédicale doit se caractériser par une amélioration, non des connaissances biomédicales, mais de la condition de l'Être humain. Il ne s'agit pas d'un rappel inutile, le risque de futilité de la recherche étant bien réel.

### 3) Nécessité du respect de la dignité de la personne

Cette condition résulte du respect des règles ci-dessus, mais aussi le dépasse. Le souvenir des expériences nazies ou autres pratiquées durant la guerre montre en particulier que la justification scientifique d'une expérience (telle la recherche des conditions propres à améliorer la survie des combattants) ou le consentement extorqué à des personnes privées de liberté ne suffisent pas pour autoriser une recherche.

## **II. Procédures à respecter lors de la soumission d'un projet**

### **Respect des règles administratives**

Elles découlent de la loi et de ses décrets d'application:

- identification de l'investigateur principal et des investigateurs secondaires;
- identification du promoteur de l'étude;
- versement des droits de saisine à la DRASS;
- souscription d'un contrat d'assurance spécifique pour la recherche envisagée;
- accord des chefs de service (en cas de recherche hospitalière dont le ou les investigateurs ne seraient pas chef de service), de façon à garantir la mise à disposition des moyens nécessaires à la recherche;
- accord du directeur de l'établissement de santé, celui-ci ayant un pouvoir de police dans son établissement, et étant lui aussi garant de l'utilisation des moyens. Cet accord est sollicité de facto lors de la signature obligatoire d'une convention entre le promoteur et la direction hospitalière;
- soumission par le promoteur du protocole au Ministère de la Santé. Le dossier doit comporter l'avis du CCPPRB.

En vertu des textes, le seul interlocuteur légal du CCPPRB est l'investigateur, et non le promoteur. En fait, cela ne doit pas empêcher une collaboration souple entre les trois intervenants.

Par ailleurs, sauf s'il le prévoit d'emblée lors de la confection de son avis, en le liant à des réserves et à un droit de contrôle en cours de recherche, le CCPPRB n'est pas investi d'un pouvoir de suivi de l'exécution du protocole. Certes, l'investigateur est tenu de communiquer au CCPPRB tout effet indésirable grave survenu durant la recherche, mais c'est à lui que revient le soin de proposer un amendement éventuel à son protocole. Par contre, le Ministère, obligatoirement averti par le promoteur, peut à tout moment exercer un pouvoir de police et interdire la poursuite du protocole.

## **III. Cas particulier de la recherche sans bénéfice individuel direct**

Elle est définie par l'absence de bénéfice immédiat pour les sujets inclus, le but du protocole étant de pouvoir faire bénéficier ultérieurement d'autres sujets des connaissances acquises.

Il est parfois délicat de classer certains protocoles, au regard de leur bénéfice ou non immédiat. Il est utile de demander à l'investigateur de faire ressortir, dans un paragraphe spécial, les critères qui lui font classer son étude dans l'un ou l'autre groupe.

Ce type de recherche répond, on le sait, à des contraintes supplémentaires:

- obligation de réaliser l'étude dans un lieu agréé par le Ministère de la Santé; cet agrément étant donné pour une personne donnée exerçant dans un lieu donné, et pour un type de recherche donné

(physiologie, pharmacologie...), il peut en résulter des difficultés pratiques pour la réalisation d'études « sur le terrain »;

- soumission des volontaires à un examen médical préalable; il ne s'agit pas uniquement de volontaires sains, certaines études sans bénéfice direct pouvant intéresser des volontaires malades, à condition d'être potentiellement utiles ultérieurement à des personnes semblables;
- assurance spéciale selon le principe du renversement de la preuve, la démonstration de l'absence d'erreur étant à la charge de l'investigateur;
- inscription des volontaires sur un fichier auprès du Ministère;
- participation des volontaires à une seule recherche à la fois, et indication d'un délai d'exclusion après une recherche;
- fixation d'une indemnisation raisonnable, afin de dédommager les contraintes subies.

Il est bon de souligner à nouveau la responsabilité toute spéciale de l'investigateur, compte tenu, en l'absence du moindre bénéfice pour les sujets inclus, d'un rapport bénéfice/risque forcément désavantageux. Il en découle la nécessité absolue de garantir l'innocuité sinon absolue (les impondérables existent) du moins logique et prévisible du protocole. Cette innocuité découle des moyens de surveillance et des principes de prudence mis en oeuvre, que le protocole doit indiquer de manière précise, à charge bien évidemment pour l'investigateur de respecter ensuite son protocole. Cette sécurité découle aussi des garanties fournies par le dossier préclinique concernant le produit testé, dont le CCPPRB doit examiner la qualité et l'exhaustivité, ce qui démontre si besoin était son rôle nécessaire d'expertise scientifique.

On peut ainsi concevoir qu'une recherche doit être réalisée en respectant des étapes de prudence successives. Il est par exemple évident qu'une recherche concernant le danger cérébral éventuel des téléphones mobiles doit être réalisée dans un premier temps sur une population exempte de pathologie cérébrale connue, avant de tester des sujets ayant une pathologie cérébrale avérée, tel un état épileptique ou migraineux.

La loi a prévu des restrictions supplémentaires concernant les études sans bénéfice direct, en ce qui concerne certaines catégories de sujets: soit du fait d'un risque spécial (femmes enceintes), soit du fait de l'impossibilité pratique du recueil du consentement (sujets en état d'urgence, mineurs, sujets dépendants protégés par la loi). Les études de ce type ne peuvent être réalisées chez ces catégories de personnes qu'à la condition expresse qu'elles puissent bénéficier ultérieurement à des personnes de même catégorie, et qu'elles ne puissent être réalisées au sein de populations normales.

#### **IV. Les recherches hors loi Huriet**

Des recoupements permettent de penser que nombre de recherches biomédicales continuent à ne pas faire l'objet d'une soumission de leur protocole à un CCPPRB, et donc au Ministère. Elles n'émanent pas de l'industrie pharmaceutique qui, dans les cas 'gênants', préfère probablement délocaliser à l'étranger des protocoles dits préliminaires. Elles paraissent concerner en fait des 'petits' investigateurs hospitaliers, dont l'omission est probablement assez souvent volontaire, dans le but de s'affranchir des contraintes de la loi Huriet et notamment de la plus coûteuse, à savoir l'assurance.

Il existe également une certaine méconnaissance de la loi Huriet, pourtant ancienne de plus de dix ans, qui conduit des investigateurs à penser de bonne foi que cette loi ne s'applique pas à leur recherche, notamment lorsqu'il s'agit de l'évaluation de deux conduites thérapeutiques faisant appel à des médicaments déjà évalués et possédant chacun l'AMM. L'absence de promoteur industriel favorise alors cette négligence.

Ceci étant, il existe effectivement des cas où l'investigateur peut hésiter à bon droit sur la nécessité ou non de soumettre une recherche au CCPPRB. Sa confusion est facilitée par le caractère même de la loi, qui n'est pas destinée à encadrer toute recherche, mais à assurer la protection des sujets inclus dans la recherche. Les juristes débattent d'ailleurs pour savoir s'il faut interpréter cette loi comme signifiant qu'une recherche dans laquelle les risques seraient nuls (ce que l'on traduit souvent par recherche non 'invasive' ou non 'vulnérante') échappe ou non à la loi Huriet. Le Ministère lui-même penche pour la première interprétation (loi Huriet non applicable) puisque, dans un guide de l'investigateur, il donne des exemples de recherche biomédicale pour lesquels la loi Huriet n'est pas applicable, indiquant que dans les cas ambigus le choix (soumission ou non à un CCPPRB) revient en définitive à l'investigateur, les tribunaux étant compétents pour en décider in fine au cas où ils seraient saisis.

Des cas frontière concernant les appareillages peuvent être répertoriés: tests concernant des ECG, des échographes, une RMN sans injection, des lits, des fauteuils. Certes ces appareillages ne sont pas 'invasifs' au sens strict du terme. Sans oublier que les dangers de l'application d'un protocole ne résultent pas simplement de l'appareil testé, mais aussi des contraintes supplémentaires pour les besoins du protocole (y compris les risques collatéraux engendrés par le trajet afin de se trouver dans un lieu dit à une heure dite), il n'en demeure pas moins que toute recherche ne relève pas de la loi Huriet, mais que la distinction est parfois difficile, et que les peines encourues en cas de recherche illégale incitent à ne pas se situer en dehors de la loi.

En conséquence, on assiste à deux phénomènes. D'une part, des investigateurs demandent au CCPPRB de dire si leur projet relève ou non de la loi Huriet. D'autre part, certains investigateurs soumettent au CCPPRB des projets de recherche ne relevant à l'évidence pas de la loi Huriet. Bien que la position des divers CCPPRB ne soit pas unanime sur ces points, notre CCPPRB s'est accordé à penser, et nous tenons ce langage aux investigateurs, qu'un CCPPRB n'a pas pour mission de confirmer ou réfuter la nécessité du passage d'un protocole devant lui: il s'agit là de la prérogative exclusive d'un investigateur, qui peut être conseillé à titre privé et non es-qualité par un membre du CCPPRB, mais auquel le CCPPRB ne doit pas se substituer dans la décision. A contrario, nous estimons que le CCPPRB n'a pas qualité pour refuser d'examiner un protocole, pour autant qu'il ait un caractère biomédical, même s'il lui paraît que le passage devant le CCPPRB est superflu: il prendrait ainsi une responsabilité dangereuse, non voulue par les missions que lui confie la loi.

### **Audition du Docteur George CARLO**

(réalisée sous forme d'une réunion téléphonique avec l'ensemble d groupe d'experts le 23 novembre 2000)

**Le texte qui suit est un extrait, après traduction, des pages 243 à 248 du livre écrit par G Carlo et M Schram (Cell Phones. Invisible hazards in the wireless age. 2001, Caroll & Graf Publishers Inc, New York).**

**Au cours de la conférence téléphonique, G Carlo a proposé au groupe d'experts d'utiliser la synthèse de son livre pour exprimer son point de vue sur le sujet de la manière la plus précise et actuelle (avec l'aimable autorisation de Philip Turner, de Caroll & Graf Publishers, éditeur de l'ouvrage). La forme de cet échange n'a pas permis au groupe d'experts de discuter, en sa présence, les hypothèses ou affirmations de l'auteur. La lecture et l'interprétation faites ici des travaux scientifiques (discutés par ailleurs) ne sont pas partagées par le groupe d'experts.**

Chacun des résultats alarmants des études sur les rayonnements des téléphones mobiles apporte des éléments d'information essentielles qui s'ajustent dans l'ensemble du puzzle concernant le cancer. Certaines des études précoces, qui étaient par elle-même non concluantes, ou semblaient

ininterprétables, s'ajustent également maintenant dans le puzzle. Ces travaux clarifient ainsi un tableau qui était diffus au sujet du cancer et des risques sanitaires, et qui maintenant devient clair.

Voici ces éléments d'information scientifique qui s'ajustent dans le tableau plus large du cancer:

- **Études sur le sang humain.** Ces études montrent une atteinte génétique sous forme de micro-noyaux dans les cellules du sang exposées aux rayonnements RF. Elles montrent la plausibilité biologique du développement de tumeurs à la suite d'une exposition aux rayonnements RF. Ces travaux montrent de manière répétitive des altérations chromosomiques dans les cellules du sang.

- **Altération de la barrière hémato-encéphalique.** Ces travaux s'intègrent maintenant bien dans le tableau d'ensemble concernant le cancer, fournissant une explication en deux étapes sur le mécanisme selon lequel le cancer pourrait être causé par les rayonnements des téléphones mobiles.

*Étape 1 : une dégradation de la barrière hémato-encéphalique laisserait pénétrer des carcinogènes chimiques présents dans le sang (issus du tabac, de pesticides ou de la pollution atmosphérique, par exemple) et qui pourraient ainsi pénétrer dans le cerveau et atteindre des tissus sensibles, lesquels étaient, sans cette infraction, protégés.*

Étape 2: si différentes études ont montré que les RF ne pouvaient, par elles-mêmes, altérer l'ADN, ces récents travaux suggèrent que les mécanismes de réparation des cellules du cerveau pourraient être atteints; dès lors, le processus de carcinogénèse induit par les toxiques chimiques pourrait s'enclencher.

Cela est un argument supplémentaire en faveur de la plausibilité biologique de l'implication des RF dans le développement de cancers du cerveau.

- **Études du cancer chez des utilisateurs de téléphones mobiles.** Quatre études ont été conduites chez des utilisateurs de mobiles: l'étude de mortalité de K Rothman, les deux études de J Muscat sur le cancer du cerveau et le neurinome du nerf acoustique, l'étude de L Hardell sur les tumeurs du cerveau. Ces 4 études réalisées par des investigateurs différents, qui eurent recours à des méthodes différentes, donnent des arguments en faveur d'un risque accru de tumeurs en lien avec l'usage des téléphones mobiles. C'est le principe de cohérence des résultats.

Ces 4 études ont montré un risque augmenté de développer des tumeurs du cerveau. L'étude de Muscat a montré un doublement du risque pour les tumeurs neuro-épithéliales (et ce résultat était statistiquement significatif). L'étude de Hardell a montré un doublement du risque d'avoir un cancer du côté où le téléphone était habituellement porté (ce résultat était aussi statistiquement significatif). L'étude de Rothman a montré que les utilisateurs de mobiles tenus à la main avaient un risque plus de 2 fois supérieur aux utilisateurs de téléphones installés dans la voiture (ce résultat n'était pas statistiquement significatif). L'étude de Muscat sur le neurinome de l'acoustique indique que l'utilisateur d'un mobile a un risque accru de 50 % (ce résultat était significatif seulement quand était prise en considération la durée d'utilisation). Dans 3 études épidémiologiques (celles de Muscat et de Hardell), le risque de tumeur était augmenté dans les zones du cerveau proches du lieu où était porté le téléphone, argument en faveur d'une relation dose-réponse.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats concordent.

Les pièces du puzzle des téléphones mobiles s'ajustent bien ensemble pour dessiner les contours d'un tableau que les chercheurs, les gestionnaires et les usagers peuvent tous observer par eux-mêmes. De nombreuses pièces du puzzle manquent encore. Mais il en est assez en place pour constater qu'il existe suffisamment de raisons pour être préoccupé de la santé des utilisateurs de téléphones mobiles. Le rayonnement émis par l'antenne peut causer le cancer et d'autres problèmes de santé. Ce risque affecte des centaines de millions de personnes dans le monde. Il faut en tirer des conséquences pour se protéger, et en particulier les jeunes enfants dont les crânes sont en développement et qui sont les plus vulnérables aux risques des rayonnements.

**Compte-rendu synthétique de la rencontre entre le groupe d'experts et  
le Docteur Marc Séguinot (UE-DG SANCO)**

Paris, 14.12.2000

*Note : En raison de contraintes de calendrier, cet entretien n'a pu se dérouler selon la procédure des auditions du groupe d'experts. N'ayant pu être enregistré, il fait ici l'objet d'un compte rendu synthétique qui relève les points essentiels de la discussion.*

La Commission européenne souhaite les Etats membres (EM) adoptent au plus vite le cadre de restrictions proposé par la recommandation du Conseil du 12 juillet 1999, en traduisant celle-ci en droit national, permettant ainsi de répondre aux préoccupations de protection de la santé publique sur une base scientifique internationalement reconnue. A titre d'exemple l'Allemagne et la Suède ont d'ores et déjà adopté une réglementation fondée sur les valeurs limites d'exposition de la recommandation les Pays-Bas vont adopter cette même base scientifique dans un délai très bref. L'Italie a choisi de fixer des valeurs d'exposition significativement plus basses, sur des considérations politiques dites 'de précaution' l'Autriche qui a une approche comparable a déjà adopté dans certaines provinces des ordonnances limitant de façon très stricte les niveaux d'exposition des populations aux champs électromagnétiques. Le gouvernement belge vient d'adopter des valeurs qui se situent dans une position intermédiaire; le gouvernement britannique, en réponse au rapport Stewart, a déclaré accepter les valeurs de la recommandation, sans pour autant engager de procédure réglementaire. Il développe actuellement un programme de mesures de l'exposition environnementale « in situ » des populations. Il est à noter que les opérateurs de téléphonie mobile britanniques ont décidé de se conformer spontanément aux limites d'exposition de la Recommandation. La Commission demandera début 2001 à chaque Etat Membre de préparer un rapport sur la mise en œuvre de cette recommandation, et leur adressera un questionnaire détaillé ; le délai pour réponse sera fixé au mois d'avril 2001.

La Commission a saisi son Comité scientifique directeur, afin de savoir si les bases scientifiques relatives aux risques associés aux RF, utilisées pour établir la recommandation de 1999, sont toujours valides. Le comité publieron avis en juillet 2001.

Le développement des normes de conformité aux dispositions de la Recommandation des appareils couverts par les Directives basse tension et Radio-Télécommunication, actuellement en cours sous l'égide du CENELEC et qui doivent remplacer les normes nationales à partir du mois de mars 2001, est un élément important de la mise en œuvre de ce texte, sans pour autant régler le problème législatif de l'exposition environnementale des populations

La Commission souhaite en conséquence organiser une concertation entre les gouvernements des Etats Membres, les milieux scientifiques, les industriels de la téléphonie mobile (TM), et les représentants des consommateurs, sous forme d'un forum de discussion structuré, afin de tenter de dégager un consensus sur la gestion des risques associés à la TM, vers la fin du premier semestre 2001. Sur la base de l'ensemble de ces informations, la Commission pourrait soumettre fin 2001, une nouvelle proposition législative au Conseil et au Parlement Européen. La recommandation de 1999 avait commencé à être discutée au Parlement en 1994; le calendrier initialement prévu de révision de cette recommandation manifeste ainsi une accélération du rythme des procédures de concertation et de décision, au vu du développement rapide de nouvelles technologies utilisant les radiofréquences, qui soumettent le public à une exposition accrue. La Commission est favorable à l'instauration de procédures de consultation des habitants par les opérateurs de TM lors de l'installation de stations de base. Le cas de la Nouvelle Zélande est cité en exemple à cet égard. La démarche générale est encadrée par les pouvoirs publics, et repose sur la logique suivante qui concerne l'ensemble de la population : « Voulez-vous disposer de téléphones mobiles pour vos communications ? Pour cela, il faut des stations de base. Voilà comment fonctionne une SB ; en voici les normes d'émission, fixées pour éviter tout risque pour la santé des riverains ; et voilà les résultats des mesures effectuées autour des SB existant déjà. A vous (opérateurs et riverains) de vous mettre d'accord pour permettre l'implantation de SB auprès de chez vous. »

De telles approches permettent en effet de rationaliser la perception du risque lié à l'utilisation de ces systèmes sous l'angle d'une analyse coût/bénéfice ainsi que requis par la recommandation du Conseil.

## **Lettre de Laurent BONTOUX**

**Commission européenne, Direction Générale de la recherche - Direction Sciences du vivant (Santé, alimentation et environnement).**

Ce texte est la réponse (datée du 12/12/2000) au courrier adressé à L. Bontoux par le groupe d'experts sur les programmes de recherche de l'Union européenne.

Monsieur,

Je vous remercie de nous informer des travaux de votre groupe d'experts. Les points présentés ci-dessous ne représentent pas une position officielle de la Commission européenne mais donnent une information factuelle sur les questions précises que vous posez.

Dès les premiers travaux préparatoires du 5ème PCRD, les préoccupations concernant l'effet potentiel des téléphones mobiles sur la santé ont été reconnues comme étant une demande légitime du public. La grande incertitude scientifique demeurant dans ce domaine appelait clairement de nouvelles études plus conclusives que celles disponibles jusqu'alors. Cette question a donc été incluse dans le programme de travail de l'action clé «Environnement & Santé» du programme thématique «Qualité de la Vie et Gestion des Ressources du Vivant» (1998-2002).

A l'origine, aucune priorité spécifique ne fut définie au sein du thème général des effets des radiations électromagnétiques sur la santé. Cependant, suite à la sélection et au financement de cinq projets lors de l'appel de 1999, cette position initiale fut modifiée. Lors de cet appel, près de 9 M d'Euros furent attribués à des projets visant à élucider les effets carcinogènes potentiels des radiofréquences. Après consultations, en particulier avec le groupe de contact des coordinateurs de nos projets, cela nous a conduit à éliminer les radiations électromagnétiques (RF) des priorités de recherche pour l'appel 2000, puis à focaliser l'appel à propositions 2001 (en cours) sur les effets potentiels non carcinogènes des radiofréquences.

Dans le 5ème PCRD, il n'y a pas d'attribution de budget a priori sur le sujet particulier des risques potentiels des radiofréquences sur la santé. L'action clé «Environnement & Santé» est dotée d'un budget total de 160 M d'Euros pour la période 1998-2002. Pour le moment, suite aux appels de 1999 et de 2000, 9 M d'Euros ont été attribués à des projets de recherche sur les RF et 1,4 M d'Euros à un projet de recherche sur les radiations dans la gamme des 1Hz. Nous ne savons pas encore combien va être attribué à l'étude des effets autres que carcinogènes car cela dépend du nombre de propositions que nous recevrons en Mars prochain et de leur taux de réussite après évaluation.

Pour la période 2002-2004, rien n'est encore connu car cela dépendra des décisions liées au 6ème PCRD.

Les premiers projets financés dans le cadre du 5ème PCRD ont commencé au début de l'année 2000 et tous ont une durée de 3 ou 4 ans. Les résultats les plus importants ne seront donc pas connus avant 2004.

Les résultats de ces projets de recherche seront utilisés pour l'élaboration des politiques et réglementations européennes et seront repris dans l'évaluation générale prévue par l'OMS pour 2004-2005. Leur relevance est assurée par deux mécanismes. D'une part, les programmes de travail de la DG RTD et leurs adaptations annuelles sont développés en coordination avec les différentes directions

générales concernées afin de s'assurer que les thèmes couverts correspondent pour l'essentiel aux préoccupations politiques. D'autre part, l'évaluation des propositions inclut un volet de «pertinence» et de «valeur ajoutée» européennes qui permettent de maximiser l'utilité des résultats pour la Commission.

J'espère que ces quelques éléments vous seront utiles. N'hésitez pas à me recontacter Si vous avez besoin de précisions supplémentaires.

## V- CONCLUSIONS DU GROUPE D'EXPERTS SUR LES RISQUES SANITAIRES ET RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA REDUCTION DES EXPOSITIONS DE LA POPULATION

### 1- Rappel bref des recommandations formulées dans les rapports récents

Cette courte section rappelle de manière factuelle les recommandations formulées dans les différents rapports consultés par le groupe d'experts, en matière de gestion des risques. Dans la section suivante, le groupe d'experts formulera ses propres recommandations, reprenant ou non, ou complétant celles qui sont exposées ici.

Les rapports ARCS et COST ne proposent aucune recommandation concernant la gestion du risque. Le rapport de la Société Royale du Canada propose une mesure concernant la valeur limite d'exposition par les travailleurs, qui devrait être abaissée à 1,6 W/kg, en usage au Canada pour le public<sup>44</sup>, car la valeur limite de 8W/kg pour l'exposition à la tête, au cou et au tronc est considérée comme trop élevée en raison de risques possibles pour l'œil. L'aide-mémoire de l'OMS de 1998 considère globalement qu'aucun risque pour la santé n'est vraisemblable. En conséquence, l'OMS ne propose logiquement aucune recommandation de protection, sauf des mesures de bon sens (interdiction d'accès aux antennes des bases, précautions en raison des problèmes de sécurité liés aux interférences magnétiques, développement d'un système efficace d'information et de communication destiné à « *dissiper la méfiance et les craintes* »). Le communiqué de juin 2000 de l'OMS, tout en conservant une tonalité très rassurante, propose néanmoins quelques recommandations « actives » : ne pas utiliser le téléphone en conduisant; inciter les fabricants à réduire volontairement le niveau de rayonnement de leur matériel, et le public à limiter son exposition ou celle de ses enfants, utiliser un kit « mains libres », tenir compte de l'esthétique du paysage et des préoccupations du public pour l'installation des bases.

Le 'rapport Stewart' est de loin le plus complet concernant les recommandations émises. Celles-ci s'appuient explicitement sur le principe de précaution, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, sauf pour le risque d'accident lié à l'utilisation de téléphone pendant la conduite, que les experts estiment avéré. Les recommandations émises concernent les pouvoirs publics, les industriels et les consommateurs qui doivent être activement impliqués.

Ces recommandations justifient l'adoption de valeurs limites d'exposition plus basses pour le public que pour les travailleurs, pour diverses raisons : l'existence de groupes fragiles (vieillards, enfants, malades); avec de plus longues durées d'exposition; l'invocation d'une plus forte absorption d'énergie due aux rayonnements par les enfants. Les experts du rapport Stewart recommandent aussi, pour les travailleurs, la mise en place d'un registre des personnels exposés et un suivi de leur mortalité, ce qui est faisable dans beaucoup de circonstances de façon relativement simple (même si une telle procédure n'est appliquée pour aucun risque professionnel de façon systématique en France).

---

<sup>44</sup> mesuré selon la norme ANSI

Concernant les stations de base, les experts recommandent l'élaboration rapide (12 mois) de règles et de procédures obligatoires préalablement à toute installation, l'élaboration et la mise à jour permanente d'une base de données nationale de toutes les stations de base et de leurs caractéristiques, ce qui aura l'avantage supplémentaire de faciliter les éventuelles futures études épidémiologiques<sup>45</sup>, un audit régulier (par sondage) du respect des normes mené de façon indépendante, et que les émissions soient abaissées au niveau le plus bas compatible avec un bon fonctionnement du système téléphonique. Concernant le problème spécifique des écoles, les experts recommandent que les faisceaux émis ne puissent atteindre aucune partie des sites scolaires sans l'autorisation formelle de l'école et des parents, ce qui semble une mesure difficile à mettre en œuvre. Ils recommandent également la mise en place de zones d'exclusion efficaces et identifiables, incluant un logo spécifique, et d'inciter les opérateurs à regrouper leurs bases sur des sites communs.

Les recommandations adressées aux industriels concernent l'adoption de normes internationales pour l'évaluation des valeurs de DAS, et une information systématique des clients concernant les valeurs de DAS des téléphones. Les experts insistent spécialement pour que les enfants restreignent autant que possible l'usage du téléphone mobile, et pour que les industriels cessent toute publicité ciblée sur les enfants.

Certaines recommandations s'adressent au public et aux consommateurs de téléphones mobiles : information systématique concernant les effets potentiels sur la santé, création d'un poste de Médiateur pour l'installation des stations de bases.

## **2- Recommandations du groupe d'experts**

Le groupe d'experts a été constitué afin d'exprimer son avis sur les données scientifiques disponibles et de faire des recommandations en matière de santé publique. Cette demande met le groupe d'experts dans une situation qui dépasse le rôle habituellement dévolu à des experts scientifiques dont la compétence relève de l'évaluation des risques. Le groupe d'experts a accepté cette mission. Ainsi, compte tenu de l'ensemble des informations qu'il a obtenues et analysées, à partir des différents rapports de synthèse consultés ainsi que des travaux scientifiques les plus récents, et à partir des avis recueillis auprès des personnalités auditionnées, le groupe d'experts expose, dans ce chapitre, les conclusions qu'il en tire du point de vue de la protection de la santé. Sont rappelées, dans un premier paragraphe les 'considérants', c'est-à-dire les bases de son raisonnement, puis sont exposées ses préconisations.

### **Considérants :**

1- Les réglementations internationales, inspirées par les travaux de la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP en anglais), reposent sur les seuls

---

<sup>45</sup> On notera qu'une telle base de données existe actuellement en France, et est gérée par l'Agence Nationale des Fréquences

effets biologiques correspondant à des effets sanitaires délétères qui soient scientifiquement établis. Il s'agit, dans la gamme des RF, de **certaines effets dus à l'échauffement** créé par absorption diélectrique. A partir des niveaux d'exposition les plus bas montrant l'effet le plus sensible chez l'animal, des facteurs d'abattement – qualifiés de 'facteurs de réduction' - ont été appliqués pour transposer ces valeurs à l'espèce humaine, pour les personnes exposées professionnellement ou pour le public; en découlent les niveaux de la grandeur physique adaptée, le Débit d'Absorption Spécifique (DAS), qui ont servi à la détermination des 'restrictions de base' de la recommandation de l'Union Européenne du 12 juillet 1999, correspondant à des niveaux d'exposition du public.

2- Les données scientifiques actuelles indiquent cependant l'existence **d'effets biologiques** variés pour des niveaux d'énergie n'occasionnant pas d'accroissement de la température locale. En l'état actuel des connaissances sur ces **effets non thermiques**, il n'est pas possible de dire aujourd'hui qu'ils représentent des menaces pour la santé.

3- Peut-on pour autant affirmer que tout risque sanitaire est exclu ? Non : bien qu'il y ait peu d'arguments scientifiques pour l'étayer, **l'hypothèse d'effets sanitaires** non thermiques associés aux champs RF de faible niveau ne peut être exclue, en l'état actuel des connaissances. D'ailleurs, certains effets potentiels sérieux (par exemple, promotion de cancers du cerveau) font actuellement l'objet de recherches épidémiologiques importantes sur le plan international, lesquelles produiront leurs conclusions dans plusieurs années, et pour d'autres effets potentiels (par exemple, des effets sur l'audition, le système nerveux ou les maux de tête), la recherche se poursuit.

4- Si les recherches futures venaient à valider cette hypothèse, c'est-à-dire à montrer l'existence de risques pour la santé associés à l'utilisation de téléphones mobiles, leur probabilité, au niveau individuel, serait sans doute faible, comme le suggère le fait que cette démonstration n'a pu être faite malgré, dans certains domaines, des travaux nourris depuis plusieurs années. Cependant, dans ce cas de figure, le nombre très élevé d'utilisateurs de la téléphonie mobile pourrait conduire à ce que l'impact sanitaire collectif de ce risque individuel faible soit élevé. N'est-il pas prudent, dès lors, de fixer dès maintenant, dans l'attente des résultats de ces recherches, de nouvelles 'normes' d'exposition plus basses que les valeurs actuelles ? Le groupe d'experts considère que de telles mesures seraient justifiées si elles permettaient de réduire les risques potentiels de manière effective ; cela implique d'une part que les effets sanitaires résultant de l'exposition aux champs RF soient identifiés, et que, d'autre part, puissent être déterminées des nouvelles valeurs garantissant une réduction, voire une élimination de ce risque. **Cela n'est pas le cas en l'état actuel des connaissances**. En effet, il n'existe pas, à ce jour, d'information scientifique fiable permettant d'ajuster et de dimensionner de telles mesures. Dès lors, non fondées scientifiquement, de nouvelles valeurs limites d'exposition seraient arbitraires, illusoire, et sans doute disparates selon les constructeurs ou les pays, accroissant la confusion et les craintes du public.

5- Il est par ailleurs bien établi que l'usage d'un téléphone mobile lors de la conduite automobile, avec ou sans kit main libre, représente un **réel facteur de risque d'accident**. Ce risque, non lié aux champs électromagnétiques mais à la perte de concentration résultant de la conversation téléphonique, est important en fréquence et en gravité.

6- Il est également établi que la téléphonie mobile peut constituer un facteur de sûreté et de sécurité sanitaire (rapidité des alarmes et des secours...), sans compter d'autres avantages qui ne ressortissent pas de la mission du groupe d'experts.

**En conséquence, le groupe d'experts formule les préconisations suivantes :**

1- Il recommande, pour la gestion des risques potentiels associés à la téléphonie mobile, **une approche s'inspirant du principe de précaution**, dans le sens donné à ce principe dans le

chapitre I du rapport. L'objectif général poursuivi devrait être la **réduction au plus bas niveau possible de l'exposition moyenne du public, qui soit compatible avec la qualité du service rendu**. La mise en œuvre de ce principe devrait concerner plusieurs dimensions :

a- Le renforcement de la recherche sur les effets biologiques et sanitaires de l'exposition aux RF, pour réduire le champ des incertitudes et des ignorances; les priorités de cette recherche et des recommandations relatives à son organisation sont exposées plus loin.

b- L'adoption, par l'utilisateur, de **mesures d'évitement prudent** visant, par des actions simples, à réduire toute exposition superflue (par exemple, réduire l'utilisation des mobiles dans des conditions de médiocre réception; s'équiper d'un kit oreillette; ne pas porter le mobile proche de tissus potentiellement sensibles – tels que au contact du ventre pour la femme enceinte, ou près des gonades pour un adolescent).

c- La poursuite, par les industriels, de leurs efforts visant à **réduire les niveaux d'émission des mobiles au plus bas niveau** compatible avec la qualité du service.

d- L'objectif de réduire au minimum possible le niveau d'exposition du public concerne en particulier des personnes potentiellement sensibles tels que les enfants ou certaines personnes malades. A cet effet, le groupe d'experts recommande que les **bâtiments 'sensibles'** (hôpitaux, crèches et écoles) **situés à moins de 100 mètres d'une station de base macrocellulaire, ne soient pas atteints directement par le faisceau de l'antenne**<sup>46</sup>. Cette recommandation n'est pas incompatible avec l'installation d'une antenne de station de base sur le toit de tels bâtiments, car le faisceau incident n'affecte pas, ou de manière tout à fait marginale, l'aire située au-dessous (effet 'jet d'eau'). Le groupe d'experts pense que le respect de ces mesures par les opérateurs est de nature à atténuer les craintes du public, tout spécialement de parents préoccupés par l'exposition de leurs enfants dans les établissements scolaires, d'autant que le groupe d'experts ne retient pas l'hypothèse d'un risque pour la santé des populations vivant à proximité des stations de base compte tenu des niveaux d'exposition constatés.

e- Les enfants constituent a priori, une population fragile. Il ne semble pas, en l'état actuel des connaissances, que les organes sensibles à l'intérieur de la tête reçoivent une dose de micro-ondes plus élevée que les adultes, lors de communications; en revanche, s'ils utilisent précocement un téléphone mobile, ils connaîtront une exposition cumulée au long de leur vie supérieure à celle d'adultes (néanmoins les modifications rapides et constantes des technologies conduiront à reconsidérer ce raisonnement). Il n'existe pas de données scientifiques qui permettent d'établir qu'il existe, chez les adultes ou les enfants, des risques du fait d'une exposition sur une longue période, mais cela ne peut être exclu en l'état actuel des connaissances. Aussi, le groupe d'experts invite les parents qui jugent utile d'équiper leur enfant d'un mobile à veiller à ce qu'ils en fassent un usage mesuré; une recommandation dans ce sens devrait figurer dans les notices d'utilisation des appareils vendus.

f- Les zones d'exclusion de l'accès dans le périmètre immédiat des stations de base doivent être clairement délimitées physiquement, avec une signalisation par des logos harmonisés au plan européen.

g- Le groupe d'experts ne reprend pas la proposition formulée dans le rapport de W. Stewart relative au regroupement des antennes des différents opérateurs, dans un même secteur, sur une station de base unique. Conformément à son objectif de réduire au plus bas niveau possible l'exposition du public, le groupe note que les calculs montrent que si la concentration ou la

---

<sup>46</sup> Le faisceau atteint sa limite latéralement lorsque la puissance de l'onde a chuté d'un facteur 2 par rapport à la puissance directement sur l'axe. Ce faisceau est défini par son ouverture et son orientation dans le plan horizontal (azimut) et dans le plan vertical (inclinaison).

dispersion des antennes respectent également ce principe pour ce qui est de **l'exposition moyenne**, leur regroupement a tendance à **concentrer les champs dans l'espace**, et donc à introduire une plus grande hétérogénéité de l'exposition dans la population. Le groupe est conscient que ce point de vue peut entrer en contradiction avec un souci esthétique, problème qu'un effort accru d'intégration (ou de dissimulation) des antennes dans le paysage peut résoudre, moyennant un surcoût modéré pour les opérateurs.

La proposition du même rapport d'instaurer une **instance de médiation** pour l'installation des stations de base n'a pas paru au groupe d'experts relever de sa mission. Il ne retient pas l'hypothèse que le voisinage de stations de base peut occasionner un risque pour la santé; en conséquence, les questions qui pourraient être soulevées à cet égard concernent des dimensions (esthétiques, économiques...) qui sont en dehors de son champ de compétence.

Le groupe d'experts souligne avec insistance que l'attitude générale de prudence qu'il recommande, en l'état actuel des connaissances et des incertitudes, ne constitue en aucun cas, de sa part, une validation de l'hypothèse concernant des risques sanitaires. Il s'agit plutôt de conseils de bon sens, justifiés par l'existence d'un «doute raisonnable», dans l'attente d'informations scientifiques futures.

- 2- Les pouvoirs publics devraient prendre des dispositions incitatives pour la mise en œuvre de ces principes par les acteurs concernés.
  - a- Les recommandations de la Commission Européenne de juillet 1999 devraient être traduites dans les meilleurs délais en droit national, afin que des repères clairs soient établis pour tous.
  - b- Les utilisateurs de téléphones mobiles devraient pouvoir avoir connaissance de l'ordre de grandeur de leur exposition<sup>47</sup>. Cela appelle deux types de dispositions :
    - Une information sur les puissances émises par le téléphone mobile et sur le DAS local dans la tête, mesuré dans des conditions normalisées, devrait être fournie lors de l'achat d'un téléphone mobile, ce qui permettra une comparaison entre appareils, en tenant compte de l'efficacité de rayonnement du téléphone mobile, laquelle influe sur le DAS local.
    - Lors des conversations téléphoniques, l'utilisateur devrait pouvoir prendre connaissance, par l'écran de son appareil, de la puissance émise, exprimée de manière simple (par exemple en % de la puissance maximale de l'appareil, et moyennée sur la durée de la dernière communication téléphonique). Cette faculté aurait un effet pédagogique, en montrant à l'utilisateur que l'usage du téléphone dans des conditions de médiocre réception accroît sensiblement le rayonnement reçu.
  - c- Le public devrait pouvoir connaître l'exposition typique au voisinage des stations de base. Plusieurs mesures découlent de ce principe :
    - L'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) devrait établir, dans les meilleurs délais, des règles normalisées de mesure des champs au voisinage des stations de base (préparées dans le cadre de protocoles européens), auxquelles devront se conformer tous les organismes de contrôle technique habilités à réaliser ces mesures.
    - L'obligation de communiquer les résultats de ces mesures à l'Autorité nationale chargée du contrôle, actuellement l'ANFR, devrait figurer dans le cahier des charges de tous les organismes habilités à cet effet.

---

<sup>47</sup> On rappellera que l'exposition exacte ne peut être directement mesurée et doit être modélisée, selon certains paramètres conventionnels de calcul; l'exposition réelle varie considérablement selon des facteurs liés à l'environnement et à la position du téléphone. Les procédures de calcul sont en cours de normalisation.

- Des campagnes périodiques de mesure réalisées selon un programme prospectif annuel devraient être effectuées à l'initiative de l'ANFR selon un plan d'échantillonnage prenant en compte la densité de la population et permettant de décrire les valeurs maximales d'exposition de la population (bâtiments les plus proches dans le faisceau des stations de base)<sup>48</sup>.

- L'ANFR devrait créer un registre nominatif des résultats des mesures effectuées par elle et par tous les organismes privés habilités, sous forme d'une base de données accessible au public par Internet ; elle devrait publier un rapport annuel dressant un bilan résumé des niveaux de champs mesurés sur l'ensemble du territoire.

- Par ailleurs, le 'Groupe interministériel RF' devrait diffuser dans les meilleurs délais le cahier des charges techniques d'installation des stations de base, qui est en cours d'élaboration au CSTB, et dont l'application devrait être rendue obligatoire. Ce cahier des charges national devrait être rapidement remplacé par un document de référence harmonisé au niveau européen.

3- En regard de la fréquence et de la sévérité du risque accidentel, l'information des conducteurs sur le caractère dangereux de l'usage du téléphone mobile avec ou sans kit mains-libres lors de la conduite automobile doit être renforcée et le code de la route rendu plus sévère; une campagne nationale d'information devrait être lancée dès 2001 à cet effet.

4- Il faut améliorer l'information générale du public sur les questions motivant sa légitime préoccupation.

- Le document d'information actuellement préparé par le 'Groupe interministériel RF' visant à expliquer les phénomènes physiques et biologiques associés à la téléphonie mobile, devrait être achevé et diffusé au grand public dans les meilleurs délais. En particulier, il faut expliquer que l'exposition liée aux champs des antennes relais des stations de base est très nettement inférieure à celle associée aux mobiles eux mêmes, même lorsque l'on considère la durée d'exposition des riverains les plus proches des stations de base dans les situations d'émission les plus péjoratives.

- Concernant les personnes portant des implants électroniques (pacemaker, pompe à insuline, neurostimulateurs ...) il leur est recommandé de porter leur téléphone à plus de 15 cm de leur appareil, et de mettre leur mobile, lors d'un appel, sur l'oreille opposée au côté de l'implant. Moyennant ces mesures, l'usage des téléphones mobiles devrait être sans risque. Le groupe d'experts note que la recherche technique sur la compatibilité électromagnétique se poursuit, compte tenu des développements technologiques dans le domaine des RF, qui auront recours à de nouvelles gammes de fréquences.

- Par ailleurs, le groupe d'experts ne recommande pas l'adoption par les utilisateurs de systèmes de « protection "antiradiation" », qui n'ont pas fait la preuve de leur efficacité, au contraire.

5- Le groupe d'experts n'a pas été saisi sur la question de l'exposition aux RF dans des contextes professionnels. Cependant, il recommande que des dispositions soient prises, et leur respect vérifié par l'inspection du travail et les ingénieurs des CRAM, afin que les interventions des opérateurs de maintenance et de réparation des stations de base soient effectuées après arrêt du fonctionnement de la station concernée; cette recommandation est en cohérence avec le souci de réduire l'exposition de la population – y compris les travailleurs – au plus bas niveau compatible avec la qualité du service.

Le rapport de la Société Royale du Canada recommandait la réduction des valeurs limites d'exposition locale des travailleurs au niveau des valeurs du public. Le groupe d'experts considère que cette question relève des comités ad hoc de gestion des risques professionnels, en France et au sein de l'Union Européenne. Il est favorable à la recommandation formulée dans le rapport

---

<sup>48</sup> Il découle de ce principe d'échantillonnage que l'exposition moyenne de la population sera sensiblement plus faible que ces valeurs.

britannique, relative à la mise en place d'un enregistrement de certaines catégories de travailleurs fortement exposés, en vue d'un suivi épidémiologique.

6- Conformément aux règles énoncées récemment par l'Union Européenne pour l'application du principe de précaution, un bilan des données scientifiques disponibles doit être effectué périodiquement au sein d'une instance scientifique ad hoc reconnue par l'Union, afin d'étudier la justification d'une modification des réglementations relatives à l'exposition du public et des travailleurs aux champs électromagnétiques radio-fréquences associés aux téléphones mobiles et à leurs stations de base, et de formuler auprès des instances politiques responsables des recommandations jugées appropriées.

## CONCLUSIONS OF THE GROUP OF EXPERTS ON HEALTH HAZARDS AND RECOMMENDATIONS FOR REDUCING EXPOSURE OF THE POPULATION TO RF ELECTROMAGNETIC FIELDS

The group of experts' brief was to express an opinion on the available scientific data and make recommendations in the field of public health. This put the group in a situation that went beyond the usual role of scientific experts, whose expertise relates to risk assessment. The group of experts accepted this mission. Thus, in this chapter, the group of experts present their conclusions on health protection, based on all the information they obtained and analysed. This included several summary reports, as well as the most recent scientific research, and opinions expressed by the personalities they interviewed. The first paragraph sets out the salient points on which they based their rationale, and the remainder of the chapter consists of their recommendations.

### Salient points:

- 1- International regulations, inspired by the work of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), are based solely on scientifically demonstrated biological effects corresponding to health hazards. In the RF range, these consist of **certain effects due to heating** generated by dielectric absorption. Starting with the lowest exposure levels that cause the most significant effect in animals, lapse factors – described as ‘reduction factors’ – have been applied to transpose these values to the human species, considering people exposed to this radiation in the course of their work as well as the general public. This is expressed in units of a suitable physical magnitude, the Specific Absorption Rate (SAR), which was used to define the ‘basic restrictions’ in the European Union recommendation dated July 12<sup>th</sup> 1999. These correspond to exposure levels for the public.
- 2- Current scientific data, however, indicates that a variety of **biological effects** occur at energy levels that do not cause any rise in local temperature. In the current state of knowledge on these **non-thermal effects**, it is not yet possible to state whether they represent a health hazard.
- 3- Is it possible to state that there are no health risks ? No: although few scientific arguments are available to back up this hypothesis, it is not possible to eliminate the possibility of **non-thermal health hazards** associated with low level RF fields on the basis of our current state of knowledge. Furthermore, some potentially serious effects (e.g. promotion of brain cancer) are currently the subject of large-scale, international, epidemiological research which will not produce conclusions

for several years. Research is also continuing into other potential effects (e.g. damage to hearing or the nervous system, and headaches).

- 4- If future research were to validate this hypothesis, i.e. demonstrate the existence of health hazards related to the usage of mobile phones, the probability, on an individual level, would certainly be very low. Indeed, it is reassuring to note that no risk has yet been demonstrated, in spite of the considerable amount of work done over the past several years. However, if there were a risk, the very high number of mobile telephone users could mean that, even if the individual risk were very low, the impact on public health could be substantial. In view of this, would it not be prudent to set new exposure 'standards' at lower values immediately, without waiting for the results of ongoing research? The group of experts consider that measures of this type would be justified if they were really effective in reducing potential risks. This implies, firstly, that the medical effects resulting from exposure to RF fields could be identified and secondly, that new values could be defined that would guarantee reduction, or even elimination, of this risk. **This is not the case in the current state of knowledge.** There is not, at present, any reliable scientific information that could be used to adjust and scale such measures. Therefore, any new threshold limit exposure values proposed would be unscientific, arbitrary, misleading, and would probably differ from one manufacturer or country to another, thus adding to public confusion and concern.
- 5- It has been conclusively established that using a mobile telephone while driving, whether with a hands-free kit or not, is a **real accident risk factor**. This risk is not associated with electromagnetic fields, but is due to the loss of concentration resulting from the telephone conversation. This is a major risk, in terms of both frequency and seriousness.
- 6- Mobile telephony has also been identified as a factor in security and medical safety (by speeding up calls for help and, thus, the arrival of emergency services, etc.). This means of communication also has other advantages that were not covered by the group of experts' brief.

**Consequently, the group of experts make the following recommendations:**

- 1- They recommend adopting **an approach based on the precautionary principle** to manage any potential risks associated with mobile telephony. The precautionary principle is understood as described in chapter I of the report. The general overall objective should be to **reduce average exposure of the public to the lowest possible level compatible with service quality**. The following aspects should be taken into account in implementing this principle:
  - h- More intensive research into the biological and medical effects of exposure to RF is required, to reduce the uncertainties and elucidate points on which information is lacking. Research priorities and organisational recommendations are presented in the following chapter.
  - i- Users should adopt **prudent avoidance measures** - simple steps aimed at reducing superfluous exposure (e.g. minimise the use of mobile telephones when reception is poor, use

an earpiece kit, and avoid carrying mobile phones close to potentially sensitive tissue – i.e. a pregnant women's abdomen or an adolescent's gonads).

- j- Manufacturers should continue their efforts to **reduce mobile telephone emissions to the lowest possible level** compatible with service quality.
- k- The objective of reducing public exposure to a minimum is particularly important for potentially sensitive populations, including children and sick people. For this reason, the group of experts recommend that **'sensitive' buildings** (hospitals, day care centers, and schools), **located less than 100 metres from a base station, should not be directly in the path of the transmission beam**<sup>49</sup>. This recommendation is not incompatible with the installation of a base station antenna on the roofs of buildings in this category, as the incident beam has little or no effect on the area immediately below it ("fountain" effect). The group of experts feel that, if operators apply these measures, public fears, especially those of parents concerned by their children's exposure in school, will be allayed, especially keeping in mind that, in view of the exposure levels observed, the group of experts does not back the hypothesis that there is a health risk for populations living in the vicinity of base stations.
- l- Children are theoretically a high-risk population. In the current state of knowledge, it does not appear that the sensitive organs inside children's heads receive a higher dose of microwaves during a phone call than adults do. However, if they start using mobile telephones at an early age, the cumulative exposure over their lifetime will be higher than that of today's adults (however, the constant, rapid changes in technology may lead us to reconsider this reasoning). There is no scientific data establishing any risks due to long-term exposure in adults or children, but neither is it possible to eliminate that possibility, in the current state of knowledge. For this reason, the group of experts suggest that parents who feel it is necessary to equip their children with mobile phones should ensure that they make reasonable use of this equipment. A recommendation to this effect should be included in the instructions for use supplied with all mobile telephones.
- m- Exclusion areas in the immediate vicinity of base stations, where access is prohibited, must be clearly marked, with a system of logos applicable throughout Europe.
- n- The group of experts do not support the proposal in the Stewart report concerning the installation of antennas run by different operators in the same area at a single base station. In keeping with the objective of reducing public exposure to the lowest possible level, the group noted that calculations have shown that, while concentrating or dispersing antennas does not affect **average exposure**, installing several in the same place would tend to **concentrate the electromagnetic fields in space**, and, therefore, lead to a more heterogeneous exposure for the population. The group is aware that this point of view may be in contradiction with

---

<sup>49</sup> The limit of the beam is reached when the field power has decreased by a factor of two. This beam is defined in the horizontal axis and in the vertical axis.

concerns for landscape preservation, but feel that this problem can be solved by additional efforts to integrate (or hide) these antennas in the landscape, at a relatively moderate cost to operators.

The group of experts felt that consideration of the proposal in the Stewart report concerning a **mediation organisation** to monitor the installation of base stations was not part of their brief. They do not endorse the hypothesis that living in the vicinity of base stations poses a health risk. Furthermore, they felt that aesthetic or economic issues involving base stations were outside the scope of their mission.

The group of experts emphasises that the prudent attitude they recommend, in the current state of knowledge and uncertainties, does not in any case constitute a validation of the health hazard hypothesis. It is, rather, a matter of advice based on common sense, justified by the existence of a "reasonable doubt", pending further scientific investigation.

- 2- The public authorities should provide incentives for the implementation of these principles by all the stakeholders.
  - d- The European Commission's July 1999 recommendations should be applied in national legislation as soon as possible, to clarify the situation for all those involved.
  - e- Mobile telephone users should be able to find out the extent of their exposure<sup>50</sup>. This requires two types of measures:
    - Information on the power of mobile telephone emissions and on the local SAR in users' heads, measured under standardised conditions, should be provided with every mobile telephone purchased. This will facilitate a comparison between mobile telephones, taking into account radiation efficiency, which affects local SAR.
    - Telephone displays should inform users of the emission strength during conversations, expressed in a simple way (e.g. % of maximum power, averaged over the duration of the last telephone call). This would have an educational effect, showing users that making telephone calls under poor reception conditions increases the radiation they receive quite significantly.
  - f- The public should be able to find out the usual exposure in the vicinity of base stations. Several measures would be required to implement this principle:
    - The 'Agence Nationale des Fréquences' (ANFR – National Frequencies Agency) should establish standardised rules for measuring electromagnetic fields in the vicinity of base stations (prepared in the context of European protocols), as soon as possible. These rules should be adopted by all technical monitoring organisations authorised to carry out these measurements.

- An obligation to transmit the results of these measurements to the national monitoring authority, presently the ANFR, should be included in the specifications of all organisations authorised to carry out these measurements.
  - Regular measurement campaigns carried out according to an annual, long-term programme, on the initiative of the ANFR, using a sampling schedule taking population density into account, in order to define maximum population exposure values (closest buildings in base station emission beams)<sup>51</sup>.
  - The ANFR should set up a register of results per site for all their own measurements and those carried out by authorised private organisations, in the form of a data base accessible to the public via Internet. The ANFR should publish an annual report summarising the field levels measured throughout the entire country.
  - The ‘Groupe interministériel RF’ (Interdepartmental RF Group) should issue the set of technical specifications for the installation of base stations as soon as possible. This is currently in preparation at the CSTB and its application should be made compulsory. These national specifications should soon be replaced by a standardised European reference manual.
- 3- In view of the frequency and seriousness of accident risks, there should be more driver information on the danger of using mobile telephones while driving, with or without a hands-free kit, and traffic laws on this subject should be made stricter. A national information campaign on this theme should be launched in 2001.
- 4- The public should be given more extensive information on issues of legitimate concern.
- The informative document currently being prepared by the ‘Groupe interministériel RF’ (Interdepartmental RF Group) to explain the physical and biological phenomena associated with mobile telephony should be completed and circulated to the general public as soon as possible. In particular, it is necessary to explain that exposure to the electromagnetic field of base stations is insignificant compared to that associated with mobile telephones themselves, even considering the exposure of the closest neighbours of the base stations under the most unfavourable emission conditions.
  - It is recommended that people who have electronic implants (pacemakers, insulin pumps, neurostimulators, etc.) carry their telephone at least 15 cm away from their implant and hold it to the ear on the opposite side when they call. If these measures are applied, the use of mobile telephones should not present any risks. The group of experts noted that technical research into electromagnetic compatibility is continuing, particularly to deal

---

<sup>50</sup> It is recalled that exact exposure cannot be directly measured and must be estimated according to some standardised parameters. True exposure varies considerably according to the environment and the antenna position. Estimation procedures are under standardisation.

<sup>51</sup> It follows from this sampling approach that average population exposure will be much lower than these values.

with new technological developments in RF, which will use different ranges of frequencies.

- The group of experts do not recommend that users equip themselves with "anti-radiation protection" systems, which have by no means proved their effectiveness.

5- The group of experts were not asked to examine the issue of exposure to RF in occupational situations. However, they recommend that appropriate steps should be taken and their implementation monitored by the labour inspection department and CRAM specialists, to ensure that maintenance and repair operations at base stations are carried out only when the installation is shut down. This recommendation is consistent with the concern to reduce exposure of the population – including workers – to the lowest possible level compatible with service quality.

The Royal Society of Canada report recommended the reduction of local exposure limit thresholds for workers to the same values as those applicable for the public. The group of experts consider that this issue should be settled by *ad hoc* occupational risk management committees in France and the European Union. They are in favour of the recommendation in the British report that recordings should be kept for certain categories of highly-exposed workers, for epidemiological monitoring purposes.

6- In compliance with the rules recently laid down by the European Union governing the application of the precautionary principle, a report on all available scientific data should be prepared regularly by an *ad hoc* scientific body recognised by the Union, in order to examine whether there are grounds to modify legislation on the exposure of the general public and workers to electromagnetic fields associated with the radiofrequencies used by mobile telephones and base stations, and make appropriate recommendations to the political bodies responsible for these matters.

## VI- RECOMMANDATIONS POUR LA RECHERCHE

### 1. Etat actuel de la recherche au plan international

L'activité de recherche sur la question des effets des téléphones mobiles est actuellement concentrée en Europe. En effet, ce type de recherche a démarré aux USA en 1993, mais les financements correspondants se sont taris durant les dernières années et les gouvernements et organismes européens ont pris le relais.

Le tableau ci-dessous rassemble l'état des recherches récemment terminées (publiées en 2000 ou en cours de publication) ou en cours. On peut constater, à la lecture de ce tableau, que un équilibre existe entre études *in vivo* et *in vitro* (en particulier grâce à la contribution de la Communauté Européenne), et que les études sur des modèles de cancer demeure majoritaires.

Type d'études	Terminées	En cours	Total
<b>Cancer</b>			
Etudes épidémiologiques	4	3 + 10 (CIRC)	7 + 10 (CIRC)
Etudes long terme type génotox	4	7	11
Modèles sensibilisés	8	8	16
Autres études <i>in vivo</i>	24	15	39
Etudes <i>in vitro</i>	28	22	50
<i>Total cancer</i>	68	55	123
<b>Non-cancer</b>			
Etudes <i>in vitro</i>	36	19	55
Etudes aiguës <i>in vivo</i>	14	17	31
Etudes humaines	26	23	49
<i>Total non-cancer</i>	76	59	74
<b>Total</b>	<b>144</b>	<b>124</b>	<b>268</b>

Source principale : base de données du programme EMF de l'OMS<sup>52</sup>

### Évaluation

La source d'information habituelle sur les résultats issus des laboratoires est constituée par l'ensemble des articles publiés dans des revues à comité de lecture. Ceci est évidemment vrai pour tous les domaines de la recherche scientifique, mais dans le cas des effets biologiques des champs électromagnétiques, le nombre de revues spécialisées et d'articles de qualité est encore faible. En raison de la diversité des études effectuées aux niveaux biologique et physique, il reste difficile d'interpréter et de faire une synthèse des connaissances acquises. Pour faciliter ce travail, des évaluations sont faites par divers organismes nationaux et internationaux. Ainsi l'OMS met à jour régulièrement une base de donnée exhaustive. D'autres bases de données informatisées sont disponibles<sup>53</sup> ainsi que des rapports d'experts.

Les principaux programmes de recherche, *in vivo* et *in vitro*, en cours au niveau mondial, sont brièvement décrits ci-dessous.

Trois types de financements sont identifiables : le premier concerne les programmes partiellement financés par un gouvernement ou par l'union européenne, le deuxième des programmes pris en charge entièrement par l'industrie et le troisième des projets financés par l'industrie à travers une fondation qui joue le rôle de pare-feu.

<sup>52</sup> <http://www.who.int/peh-emf/database.htm>

<sup>53</sup> <http://www.femu.rwth-aachen.de/>

#### 1.0.0.2.1.1.1.1. Programmes nationaux

##### *Allemagne*

**L'activité de recherche est très intense en Allemagne. Tous les domaines sont couverts par les nombreux groupes de recherche qui sont financés par l'industrie, la fondation FGF (voir plus loin) ou les ministères. Quelques exemples sont donnés ci-dessous :**

- Influence de l'exposition à des champs RF (383 MHz, 900 MHz and 1.8 GHz) sur la synthèse de la mélatonine et les fonctions reproductives chez le hamster. (A. Lerchl, Institute of Reproductive Medicine, University of Muenster).
- Effets de champs RF pulsés sur les paramètres physiologiques chez le rat. Etude des effets d'une exposition supplémentaire intense et aiguë durant la gestation. (Dr. Buschmann, Fraunhofer Institute for Toxicology and Aerosol Research (ITA), Hannover, Dr. Hansen, Chair of Theoretical Electrical Engineering, Bergische Universitaet-Gesamthochschule Wuppertal ; Dr. Chaloupka, Chair of High Frequency Engineering, Bergische Universitaet-Gesamthochschule Wuppertal).
- Récepteurs aux champs électromagnétiques dans les membranes (Prof. Boheim, Department of Cell Biology Ruhr-University of Bochum ; Prof. Hansen, Chair of Theoretical Electrical Engineering, Bergische Universitaet-Gesamthochschule Wuppertal ; Dr. Grosse, Umweltagentur, Ruhr-University of Bochum).
- Etudes sur les tumeurs chimio-induites par le DMBA chez le rat soumis à des signaux GSM de faible puissance (Bartsch, Tübingen, Deutsche Telekom).
- Etude de l'impact des effets tératogènes des signaux GSM sur le rat.

Une base de données informatisée a été mise en place sur les résultats récents (Dr. Silny, Institute for Biomedical Technology, Technical University (RWTH) of Aachen, <http://www.femu.rwth-aachen.de/>).

##### *Australie*

Les financements proviennent d'une taxe spéciale prélevée sur les licences d'émission. Les sommes recueillies sont administrées par un comité interministériel et le National Health & Medical Research Council évalue, recommande et supervise les projets de recherche.

Réplication de l'expérience de Repacholi sur les souris transgéniques (Vernon-Roberts, Adelaïde)

#### 1.0.0.2.1.1.1.2. Belgique

- L. Verschaeve poursuit son étude in vitro sur les effets des signaux GSM 900 sur des souris porteuses de tumeurs chimio-induites.

#### 1.0.0.2.1.1.1.3. Danemark

Une étude épidémiologique de cohorte est en phase finale de réalisation, menée par Johanson à l'échelle de tout le pays (incidence et mortalité du cancer). L'université d'Aalborg est très active en dosimétrie (J. Bach Andersen).

##### Finlande

**Le programme finlandais de recherche sur les effets sanitaires éventuels des téléphones mobiles est composé de sept projets (dont une étude animale sur le cancer cutané et deux études sur des cellules en culture). Les instituts de recherche impliqués sont l'université de Kuopio, l'Institut Finnois de Médecine du Travail, le Centre Finnois de Radioprotection, le Centre Finnois de Recherche sur le Cancer, et le Centre de Recherche Technique de Finlande. Le programme est financé à hauteur de 1,1 M euros par an environ.**

- Juutilainen à Kuopio étudie les effets de l'exposition çà des signaux GSM sur des souris transgéniques dont les tumeurs sont initiées par les UV.

#### *France*

Le projet COMOBIO (COmmunications MObiles et BIOlogie) est en cours d'exécution dans le cadre du programme RNRT (Réseau National de Recherche en Télécommunications), financé par les ministères de la Recherche et de l'Industrie. Il est composé de huit sous-projets dont deux concernent la dosimétrie des téléphones mobiles et des systèmes d'exposition. Les six sous-projets de biologie sont les suivants :

- Etudes sur l'homme des potentiels évoqués auditifs, y compris chez des sujets épileptiques (J.-L. Coatrieux et G. Faucon, Université de Rennes, Universités de Marseille et de Montpellier-Nîmes, ENST Paris),
- Audition chez le cobaye (J.-M. Aran, Inserm, Université de Bordeaux),
- Métabolisme cérébral (Bruno Bontempi, CNRS, Université de Bordeaux)
- Mémoire et apprentissage chez le rat (J.-M. Edeline, CNRS, Université d'Orsay),
- Neurotransmetteurs et récepteurs chez le rat (R. de Seze, Université de Montpellier-Nîmes),
- Barrière hémato-encéphalique chez le rat (P. Aubineau, CNRS, Université de Bordeaux).

Le financement total du projet COMOBIO, qui fait intervenir une quinzaine d'équipes et les principaux industriels français de la téléphonie mobile, est de 12 MF environ sur une durée de deux ans.

D'autres projets sont en cours de réalisation, financés par les opérateurs de téléphone mobile :

- Effets de signaux GSM sur le développement de tumeurs chimio-induites par le DMBA (R. Anane, CNRS, Université de Bordeaux),
- Action sur la peau de signaux GSM : étude sur cellules en culture, peau reconstituée et sur l'animal (B. Billaudel, CNRS, Université de Bordeaux),
- Influence de signaux GSM sur des tâches cognitives chez l'homme (R. de Seze, Université de Montpellier Nîmes).

#### *Grèce*

La plupart des projets en cours en Grèce concernent la dosimétrie (évaluation des champs autour des stations de base ou des terminaux).

- Evaluation des effets sanitaires de téléphones mobiles (K.S. Nikita, Biomedical Simulations and Medical Imaging Unit, Department of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens).
- 2- PERFORM-A: études de carcinogénicité sur les rongeurs (J.N. Sahalos, RadioCommunications Laboratory, Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki)

#### **1.0.0.2.1.1.1.4. Hongrie**

- L'équipe de Thuroczy est très active dans différents domaines tels que l'étude des effets de signaux GSM sur la descendance de souris exposées à des signaux GSM.

#### *Italie*

L'activité de recherche est particulièrement active en Italie. Un réseau de recherche multi-centrique a été créé qui fédère les efforts de nombreuses universités (ICEmB). Le

ministère de la Recherche italien (MURST) a lancé récemment un programme de recherche intitulé : « Protection de l'homme et de l'environnement contre les émissions électromagnétiques ». Ce vaste programme qui implique 59 instituts de recherche est coordonné par le Conseil National de Recherche (CNR), l'agence pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement (ENEA). Plusieurs projets sont en cours dans lesquels des modèles animaux et cellulaires sont mis en œuvre pour l'étude des effets et de leurs mécanismes.

La plupart des études sont effectuées dans le cadre du programme du 5<sup>ème</sup> PCRD.

- Etudes des mécanismes d'interaction des micro-ondes avec les tissus (groupe de d'Inzeo).
- Effets de l'exposition de cellules 3T3 et L929 (expression des gènes et stress oxydatif).
- Altération du fonctionnement de l'oreille interne de rats soumis à des signaux GSM (groupe de Marino).

#### *JAPON*

- Une étude épidémiologique sur les tumeurs du cerveau chez les utilisateurs de téléphones mobiles (PDC, 1,5 GHz) est en cours, pilotée par Yamaguchi.
- Sharai poursuit son étude sur les tumeurs mammaires chez la souris (modèle DMBA, signal PDC à 1,5 GHz).

#### *POLOGNE*

Une grande partie de la recherche polonaise a été effectuée par les services de santé militaires :

- Effets de champs micro-onde sur l'immunomodulation (E. Sobiczewska, Military Institute of Hygiene and Epidemiology, Varsovie)

#### ***Les autres études concernent surtout la dosimétrie :***

- ***évaluation de l'exposition des travailleurs et résidents aux systèmes de téléphonie mobile (H. Aniolczyk, M. Zmyslony, Institute of Occupational Medicine, Lodz)***

Une commission d'experts est en train d'établir de nouvelles normes d'exposition nationales pour le public et les travailleurs.

#### *République tchèque*

L'activité de recherche tchèque concerne surtout le mesurage des champs et la théorie des interactions.

- Effets biologiques éventuels des téléphones mobiles (J. Musil, (National Institute of Public Health, Prague).
- **Mécanismes biophysiques de l'interaction des champs avec la transduction du signal (J. Pokorny, Institute of Radio Engineering and Electronics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague)**

## U- Slovénie

L'essentiel de l'activité de recherche en Slovénie est le fait du laboratoire de D. Miklavcic à l'Université technique Ljubljana. Il s'agit essentiellement de dosimétrie (ex : mesurage des exposition des travailleurs de la société Mobitel).

- Etude du DAS en fonction de la permittivité (P. Gajsek, National Institute of Public Health of Slovenia, Ljubljana et US Airforce research laboratory, Trinity University, Texas)

### **1.0.0.2.1.1.1.5. Suède**

- 3- Le groupe de Hardell poursuit son étude épidémiologique sur les tumeurs du cerveau.
2. Persson et Salford, à Lund, poursuivent leurs études sur la barrière hémato-encéphalique chez le rat.

### **2.2.1.1.1.1.1.1. USA**

Le niveau de recherche aux Usa a fortement diminué durant les dernières années. Seules quelques études se terminent avec le concours financier de Motorola (groupes de Roti Roti à St Louis et d'Anderson à Battelle). Des études à long terme sur l'animal sont envisagées par le NTP<sup>54</sup>.

## *Union européenne et fondations*

### Commission européenne

Au sein du 5<sup>ème</sup> Programme Cadre (action « Qualité de la Vie », thème « environnement et santé »), trois projets multinationaux viennent de démarrer :

- REFLEX. *Ce projet est coordonné par la fondation VerUm de Munich en Allemagne qui finance des études sur les impacts sur l'environnement. Le thème de REFLEX est l'action des champs sur les processus cellulaires. Il s'agit donc d'un travail à réaliser in vitro sur des modèles de carcinogénèse et de pathologie neurodégénérative. Les différentes approches complémentaires incluent : les effets génotoxiques directs et indirects, les effets sur la différenciation cellulaire et les cellules souches, les effets sur l'expression des gènes, sur le système immunitaire, sur la transformation et l'apoptose. Onze laboratoires européens sont partenaires : Clinique 'Benjamin Franklin', Université Libre de Berlin, Hindenburgdamm, Allemagne; Clinique Universitaire de Médecine Interne, Vienne, Autriche ; Institut de Botanique, Gatersleben, Allemagne ; Hôpital 'Ramon y Cajal', Madrid, Espagne; Laboratoire de Radiobiologie, STUK, Helsinki, Finlande ; Institut de Biophysique, Université d'Hanovre, Hanovre, Allemagne ; Università degli Studi di Bologna, Bologne, Italie ; Laboratoire PIOM, Talence, France ; Département de Pharmacologie, Université de Milan, Milan, Italie ; Institut für Feldtechnik und Höchstfrequenztechnik, ETH*

---

<sup>54</sup> National Toxicology Program

Zürich, Zürich, Suisse. Le financement total de ce projet qui s'étend sur trois ans est de 3 Meuro environ.

- **CEMFEC.** Ce projet qui est coordonné par J. Juutilainen (Kuopio, Finlande) durera 45 mois. L'objectif est de déterminer si les champs peuvent agir comme co-carcinogènes, augmentant par là les effets de carcinogènes déjà présents dans l'environnement. Les approches *in vivo* et *in vitro* seront mises en œuvre de manière complémentaire. Dans l'étude animale, l'effet combiné de l'exposition aux champs et à un produit mutagène (MX) présent dans l'eau de boisson, sera étudié. *In vitro* deux lignées cellulaires seront exposées aux champs en présence ou pas de MX ou de l'herbicide vinclozoline. Les mécanismes de co-carcinogenèse tels que le stress oxydatif, la prolifération et l'apoptose seront étudiés. Les études animales seront effectuées à l'Université de Kuopio (Finlande), au 'Fraunhofer Institute for Toxicology and Aerosol Research' (Allemagne), au 'Flemish Institute for Technological Research' (Mol, Belgique) et dans les laboratoires de la 'Radiation and Nuclear Safety Authority' (Finlande). L'étude cellulaire sera faite en Italie dans le cadre du réseau inter-universitaire 'Interuniversity Centre for Interaction Between Electromagnetic Fields and Biosystems', basé à Gênes.
- **PERFORMA.** Un seul des trois projets présentés par le consortium industriel a été accepté. Il s'agit de celui qui est le plus important car il a trait aux effets liés au cancer chez l'animal. Les résultats de ces études seront indispensables au moment de l'évaluation de la carcinogénicité des RF qui sera effectuée par le CIRC en 2003. Des rats et souris seront exposés à des signaux GSM 900 et 1800 pendant deux ans (RCC en Suisse et Fraunhofer ITA en Allemagne). Une étude histopathologique complète sera pratiquée sur tous les animaux. Dans le laboratoire ARCS à Vienne en Autriche, le modèle de tumeurs chimio-induites par le DMBA sera mis en œuvre pour assurer la confirmation des expériences déjà effectuées à Bordeaux et Tübingen. Une étude de confirmation de l'expérience australienne de Repacholi sur des souris transgéniques sera effectuée par le laboratoire RBM en Italie. Le groupe de N. Kuster à Zürich sera responsable de la dosimétrie et des systèmes d'exposition. Dans le cas de rats exposés à 1800 MHz, la conception d'un système d'exposition adapté permettant d'obtenir une répartition contrôlée du DAS dans les animaux représente un véritable défi.

#### **2.2.1.1.1.1.1.2. Allemagne**

**La fondation FGF a été créée en 1992 pour effectuer des recherches sur les effets biologiques et sanitaires des champs électromagnétiques et diffuser l'information les concernant, tout en jouant le rôle de pare-feu entre les financeurs et les chercheurs. FGF a financé environ 60 projets de recherche pour 50 MF en sept ans. Plusieurs de ces projets concernaient les modèles animaux (systèmes d'exposition, mélatonine, etc.) et cellulaires (calcium, etc.).**

#### **2.2.1.1.1.1.1.3. Italie**

La fondation Elettra 2000 est chargée d'informer sur les effets sanitaires éventuels des champs électromagnétiques et de cofinancer la recherche. Elle reçoit des fonds des trois opérateurs italiens Tim, Omnitel et Wind et finance des équipes de recherche italiennes qui ont déjà obtenu une évaluation positive de leurs projets de recherche. Un comité scientifique international examine toutes les propositions. Plusieurs projets concernant des modèles animaux et cellulaires sont en cours d'évaluation par Elettra 2000.

#### **2.2.1.1.1.1.1.4. USA**

Le programme WTR (Wireless Technology Research) a été financé pendant cinq ans par la CTIA (Cellular Telecommunication Industry Association). Un effort a été accompli pour construire des systèmes d'exposition fiables *in vivo* et *in vitro*. Des études animales ont été réalisées sur la fragmentation de l'ADN dans le cerveau de rats et sur la formation de micro-noyaux dans des

lymphocytes exposés à des champs intenses. Le programme est maintenant terminé et des publications sont en cours de publication.

Une suite est donnée dans le cadre d'une coopération entre l'industrie américaine et la FDA (Food and Drug Administration).

Une production scientifique importante est donc en cours. Le groupe d'experts expose dans la suite les voies de recherche qui lui paraissent prioritaires, un nombre élevé de ces axes de recherche faisant d'ailleurs déjà l'objet des travaux décrits ci-dessus. Ce faisant, le groupe d'experts est conscient que certaines de ces recommandations pourront s'avérer caduques ou devront être modifiées selon les travaux scientifiques qui seront publiés à l'avenir dans la littérature.

## 2- Recommandations du groupe d'experts pour la recherche

Une grande partie des travaux scientifiques mentionnés et analysés dans le présent rapport n'ont qu'un lien indirect avec l'usage des téléphones mobiles. Pour ce qui concerne les autres données, souvent contradictoires, il s'avère qu'une analyse comparative des résultats obtenus est parfois rendue difficile, voire impossible, par la diversité des protocoles et des matériels utilisés. Il apparaît donc qu'en raison de ces difficultés, l'évaluation des risques potentiels de la téléphonie mobile sur la santé peut être entachée de subjectivité.

Par ailleurs, il est manifeste que certaines expertises analysent les résultats expérimentaux au travers du filtre implicite que les effets biologiques des micro-ondes GSM ne peuvent provenir que d'une élévation de température des tissus, alors que d'autres analyses n'excluent pas que des effets non thermiques des micro-ondes puissent se manifester même si le mécanisme intime de ces effets reste scientifiquement inexplicable à l'heure actuelle. Selon le poids accordé aux expérimentations tendant à montrer des effets non thermiques, les principaux axes de recherche envisagés par ces différents groupes d'experts s'avèrent parfois assez divergents.

**Compte tenu de ces remarques liminaires, le groupe d'experts formule trois recommandations d'ordre général pour ce qui concerne les investigations à entreprendre ou à compléter dans le domaine des effets biologiques des micro-ondes GSM :**

- La standardisation des protocoles et des matériels expérimentaux employés devrait faire aussitôt que possible l'objet d'une concertation nationale et internationale afin de faciliter la comparaison des différents résultats obtenus (ceci n'étant qu'en partie accompli dans le cadre des activités du programme EMF de l'OMS);
- étant donné le très faible échauffement des tissus constaté en usage normal des téléphones mobiles, un effort particulier devrait porter sur les effets qui ne peuvent pas être directement expliqués par une action thermique des micro-ondes (*in vitro* et *in vivo*);
- pour diminuer le risque d'erreur ou de « flou » dans l'interprétation d'éventuels résultats, un « monitoring » aussi complet que possible des variables physiologiques contingentes devrait figurer dans les nouveaux protocoles proposés (évaluation du stress chez l'animal, vérification de la vigilance des sujets lors d'études sur l'EEG...), particulièrement pour ce qui concerne les expérimentations *in vivo* sur l'animal et l'homme et tout spécialement les expérimentations destinées à montrer ou à confirmer un effet non thermique des micro-ondes (faibles ou très faibles puissances d'exposition).

**Par ailleurs, la revue de la littérature scientifique disponible montre qu'un certain nombre de domaines de recherche n'ont été que peu ou pas explorés. C'est en particulier le cas pour ce qui concerne :**

- la synergie possible entre les effets des micro-ondes et certaines pathologies chroniques ou aiguës, préexistantes ou concomitantes (syndromes cutanés et neurologiques en particulier);
- leur action sur certains tissus plus ou moins directement exposés (méninges, vaisseaux sanguins, peau) par l'utilisation actuelle majoritaire (téléphone porté à l'oreille) et par une utilisation future probable liée à l'arrivée de nouvelles technologies comme Bluetooth (téléphone porté à la ceinture ou dans une poche, ce qui induit une exposition de la peau, du péritoine, des viscères et des organes sexuels). Pour ce qui concerne la peau, les aponévroses, les méninges et les viscères en général, l'influence potentielle des RF sur certaines cellules immunitaires résidentes impliquées dans de nombreuses pathologies à caractère inflammatoire et/ou douloureux (mastocytes) devrait recevoir une attention particulière aussi bien *in vitro* qu'*in vivo*.
- l'influence particulière des ondes GSM sur des organismes et tissus en croissance (embryon, fœtus, enfant, adolescent) ;
- l'influence possible des stations de base lors d'expositions « corps entier », à des intensités moyennes ou relativement fortes (personnel d'installation et de maintenance).

Ces grands thèmes, qui seront détaillés dans ce qui suit, apparaissent prioritaires au groupe d'experts. Certains nécessiteront des études préliminaires de dosimétrie.

En troisième lieu, il semble aussi important d'accompagner l'évolution de cette technologie et d'entreprendre dès aujourd'hui des recherches sur les effets potentiels des nouvelles gammes de fréquence qui seront utilisées dans un futur proche (UMTS, Bluetooth ...).

Enfin, la rareté des études épidémiologiques autres que celles ciblées sur une possible carcinogénèse céphalique incite à promouvoir différents types d'études aptes à révéler la possible influence des micro-ondes GSM sur d'autres pathologies, en particulier sur l'apparition de céphalées, que ce soit chez des utilisateurs 'quelconques' ou chez des utilisateurs ayant des états physiologiques pouvant les rendre plus sensibles.

**Le groupe d'experts formule par ailleurs des recommandations de recherche particulières.**

#### **a- Etude des interactions biophysiques**

- Le rapport COST 244 bis préconise qu'un important travail de modélisation de ces interactions soit effectué préliminairement à ces recherches. Il semble en effet évident qu'il est nécessaire de déterminer correctement la nature du champ au niveau moléculaire pour pouvoir prédire un effet au niveau macroscopique, effet qui prendrait en compte les interactions au niveau microscopique (modèles des interactions ion-ligand et de protéines membranaires).

Ces recherches pourraient déboucher sur une investigation portant sur les mécanismes de détection cellulaire des champs RF (on pourrait dans un premier temps s'intéresser particulièrement aux cellules sensibles aux champs magnétiques, présentes dans le système nerveux de certains vertébrés).

#### **b- Etude des effets biologiques**

##### **Etudes in vitro**

Les effets biologiques des ondes RF qui ont pu être constatés à ce jour *in vitro* s'avèrent de très faible amplitude, ce qui explique peut-être la difficulté de les reproduire expérimentalement. De plus,

si ces effets s'avéraient réels, il resterait difficile de déterminer quelles peuvent être leurs conséquences sur la santé.

Les études *in vitro* concernent en effet par définition des systèmes isolés qui ne prennent pas en compte les interactions les plus élémentaires entre l'élément organique étudié et le reste du système. Néanmoins, des recherches *in vitro* peuvent permettre d'étudier l'action des micro-ondes sur des modèles unicellulaires (bactéries) ou sur certaines celles isolées de l'organisme animal et humain (cellules immunitaires et germinales en premier lieu). Elles se justifient dans trois cas précis : 1) la réplication de certaines expériences positives, 2) l'étude d'organes difficiles à étudier d'une autre manière, 3) l'étude de mécanismes qui n'ont encore fait l'objet d'aucune recherche.

Dans ces trois catégories, les points suivants semblent devoir être mis en avant :

- l'étude de la génotoxicité des micro-ondes (nombre de publications trop faible pour acquérir une opinion tranchée) . Parmi les tests à répliquer nous mentionnerons par exemple le test des "micro-noyaux" dont la fréquence fournit une évaluation du nombre de chromosomes endommagés ainsi que le test dit "des comètes" qui permet de visualiser en microscopie de fluorescence l'ADN fragmenté (bien qu'une réplication de ce test ait récemment donné des résultats négatifs dans un laboratoire français);
- l'influence des micro-ondes sur l'apoptose ou "mort cellulaire programmée" (pas de travaux publiés) ;
- l'expression des gènes (C-fos et C-jun) et la synthèse de l'acide nucléique. Il conviendra aussi de répliquer sur des cellules humaines en culture de récentes expériences montrant sur des vers que les radio-fréquences peuvent, sans élévation de température, modifier l'expression des protéines dites "du choc thermique" (en réalité protéines du "stress" cellulaire, de quelque nature qu'il soit) ;
- la modification de la synthèse et/ou du stockage des neurotransmetteurs (tranches de cerveau) ;
- l'influence des micro-ondes sur la transmission intercellulaire (tranches de cerveau);
- les modifications phénotypiques et fonctionnelles des cellules immunitaires (cellules en culture) ;

d'une façon générale et pour tout ce qui précède, la répétition de ces tests en présence d'agents mutagènes chimiques et physiques (rayonnements ionisants) permettrait de plus de déterminer une possible interaction entre ces agents et les radio-fréquences.

Par ailleurs, l'étude *in vitro* de influence des micro-ondes sur les caractéristiques fonctionnelles des cellules ciliées de l'oreille interne se justifie par les difficultés rencontrées dans les recherches menées *in vivo* (appréciation relative d'une éventuelle influence des micro-ondes sur les différents étages du système nerveux, depuis ces cellules jusqu'au cortex auditif primaire ; effets d'une exposition prolongée sur leur survie).

### *Etudes sur l'animal*

Les difficultés mentionnées en exergue à ces recommandations, que l'on rencontre lorsqu'on essaie de comparer différents résultats expérimentaux entre eux, prend un relief particulier lorsqu'on considère les recherches effectuées sur l'animal. En effet, les conditions expérimentales peuvent différer notablement (système d'exposition, animal anesthésié ou non, évaluation du DAS, etc. ) et, certaines d'entre elles, pour lesquelles cela s'avère crucial, ne prennent pas en compte certains co-facteurs potentiellement importants comme le stress de l'animal en contention stricte et ses conséquences sur son état humoral, circulatoire ou neuro-physiologique. C'est pourquoi un certain nombre de ces investigations doivent être reprises en utilisant des protocoles expérimentaux plus strictement codifiés et analysées à la lumière de ces variables physiologiques, ou tout au moins d'un bon index de ces variables.

Il s'avère aussi que certains domaines particulièrement importants n'ont reçu que peu ou pas d'attention, bien qu'un certain nombre d'entre eux soient en cours d'étude à l'heure actuelle, comme le programme national COMOBIO.

*Parmi les données nécessitant confirmation, le groupe d'experts accorde la priorité aux sujets suivants :*

- influence sur des tumeurs induites (à des niveaux de DAS correspondant au GSM). Il existe en effet des travaux isolés critiquables montrant que les radio-fréquences pourraient renforcer les effets de certains carcinogènes ou favoriser la croissance des tumeurs transplantées (cf. ICNIRP 1996, Repacholi 1998, Moulder et coll. 1999, Royal Society of Canada 1999) ;
- influence sur l'ADN. Il conviendrait de valider les travaux de Lai et Singh (1995) montrant des atteintes de l'ADN chez des animaux exposés à des ondes radar ;
- réplication des expériences montrant des atteintes mnésiques chez des rongeurs et utilisation de tests comportementaux mieux ciblés sur les divers types de mémoire ;
- influence sur la synthèse des neurotransmetteurs dans le cerveau et sur leurs récepteurs ;
- influence sur l'excitabilité des neurones (EEG, utilisation des marqueurs C-fos, C-jun) ;
- réplication des études portant sur la perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique (nombre relativement élevé de travaux contradictoires à des niveaux de DAS mal définis et sans suivi des fonctions circulatoires, emploi de techniques diverses aux sensibilités difficilement comparables pour la mesure de l'extravasation) ;
- **influence sur l'oreille interne . Les champs radio-fréquence intenses engendrent une perception auditive ("click") interprété comme étant dû à une élévation transitoire de température à l'origine d'une onde de choc dans l'oreille interne. Aucun autre effet n'a à ce jour été montré et il n'existe pas, à notre connaissance, de travaux publiés qui porteraient sur les effets d'émissions d'une puissance compatible avec celle des téléphones mobiles bien qu'une étude soit en cours en France. En particulier, il conviendrait de rechercher les effets potentiels de ces émissions en conjonction ou non avec la stimulation acoustique "normale" liée à l'usage du téléphone et compte tenu de l'élévation de température due à son application sur l'oreille (indépendante de l'effet thermique des micro-ondes proprement dit).**
- **influence à long terme des expositions répétées sur la genèse de tumeurs cancéreuses et sur les fonctions des systèmes immunitaire et endocrinien.**

*Domaines n'ayant reçu jusqu'à aujourd'hui que peu ou pas d'attention :*

- synergie avec d'autres radiations (UV, radiations ionisantes) ou certains facteurs chimiques reconnus tératogènes, cancérogènes ou immuno-déprimants ;
- synergie avec des pathologies chroniques ou aiguës (en particulier certains états inflammatoires<sup>55</sup>, les maladies neuro-dégénératives, l'épilepsie, les intoxications à l'alcool ou aux stupéfiants) ;

---

<sup>55</sup> A ce sujet, nous relevons qu'aucune plainte ne semble émaner d'utilisateurs atteints de maladies cutanées chroniques telles l'eczéma ou le psoriasis qui mettent en jeu des éléments cellulaires -immunitaires et nerveux- impliqués au premier chef dans d'autres pathologies à caractère inflammatoire, telle la migraine dont l'incidence des crises pourrait être accrue par les micro-ondes GSM. Si les micro-ondes GSM sont capables d'agir sur ces éléments cellulaires localisés en profondeur (méninge), elles devraient *a fortiori* posséder une influence encore plus forte sur ces mêmes éléments situés en surface et qui sont exposés de façon beaucoup plus intense. De même, il n'existe à notre connaissance pas de plainte émanant de patients souffrant d'algie vasculaire de la face ou de neuralgies bien caractérisées comme celles provenant d'atteintes des nerfs sensoriels issus du ganglion trijumeau.

- influence des RF sur des animaux montrant des prédispositions à certaines pathologies (cancer, hypertension, immunité déficiente) ou génétiquement modifiés (knock-out pour certains gènes) ;
- influence sur la peau, avec une attention particulière portée sur mélanocytes et les cellules immunitaires résidentes, les mastocytes ;
- influence sur les méninges (en particulier sur la dure-mère, décrite comme étant le siège de la maladie migraineuse et que l'on peut décrire comme l'organe lymphoïde protecteur du cerveau) ;
- influence à long terme sur la structure et la fonction des vaisseaux sanguins cutanés, méningés et cérébraux (une attention particulière sera portée à l'endothélium) ;
- influence sur les tissus digestifs, sur les gonades et sur les cellules germinales, dans la perspective où l'utilisation du GSM porté à la ceinture deviendrait coutumière. Dans le même esprit, il conviendrait d'étendre les recherches précitées à l'embryon et au fœtus (exposition de femelles gestantes). En particulier il serait utile de reproduire l'étude de Magras et Xenos (1997) montrant une décroissance de la fertilité femelle après exposition à de faibles intensités
- application générale de ces domaines de recherche à l'animal immature (mieux à même de représenter la susceptibilité de l'enfant ou de l'adolescent).

#### Etudes de laboratoire sur l'homme

Les études qui sont proposées ci-dessous devront, pour autant qu'elles seront effectuées en France, se mettre en conformité avec la loi de Bioéthique de 1996 et recevoir l'accord d'un CCPPRB.

Les thèmes de recherche proposés devraient s'appliquer d'une part à des volontaires sains et d'autre part à des sujets porteurs d'une pathologie diagnostiquée dont on peut soupçonner l'interférence avec une éventuelle influence sur la santé des micro-ondes GSM et des autres bandes de fréquence en développement. Pour leur plus grande part, elles s'appliqueront à résoudre les questions soulevées par la recherche sur l'animal à l'aide des techniques atraumatiques disponibles en laboratoire ou en milieu hospitalier.

##### *Exposition de volontaires sains :*

- Effets sur l'EEG (EEG et magnétoencéphalographie) ;
- Effets sur les neurotransmetteurs (tomographie par émission de positons) ;
- Effets sur le système immunitaire et humoral (analyse sanguine) ;
- Effets sur le sommeil ;
- Effets sur la mémoire et la réalisation de tâches cognitives ou de tâches mettant en jeu des aires cérébrales associatives ciblées ;
- Effets immédiats ou retards (expositions répétées) sur la vision et l'audition ;
- Effets sur le système cardio-vasculaire. En particulier l'expérience de Braune et coll. (1998) montrant qu'une exposition de 35 minutes (avec téléphone sur le côté droit de la tête) provoque une élévation significative de la pression artérielle, une diminution du rythme cardiaque et de la perfusion capillaire de la main (indices d'un accroissement d'activité de l'innervation autonome sympathique) devrait être reproduite sur plus grand un nombre de volontaires.

Parmi ces investigations, les recherches non-invasives seraient à reprendre, si possible d'un point de vue éthique, sur des enfants et des adolescents, ainsi que sur des personnes souffrant de pathologies bénignes dont on peut penser qu'elles puissent être aggravées (ou dont les crises pourraient être provoquées) par l'utilisation des GSM. Nous pensons en particulier à la migraine, au rhumatisme articulaire et à certaines maladies inflammatoires cutanées telles que l'eczéma ou le psoriasis (ces dernières n'ayant l'objet d'aucune étude à notre connaissance). Il serait aussi important d'étudier ces

effets sur des personnes souffrant de pathologies plus lourdes : syndromes neurologiques (épilepsie, infarctus cérébraux non consolidés, troubles chroniques ou aigus de la circulation cérébrale), cardiovasculaires (hypertension), auditifs et oculaires (dégénérescence maculaire, glaucome). Dans ce domaine, nous soulignons qu'une attention particulière devrait être accordée au risque épileptique chez l'enfant et le jeune adolescent. S'il s'avérait que l'usage des téléphones mobiles accroît le risque de crise chez l'épileptique, il faut en effet prendre en compte que le cerveau du jeune a pour caractéristique de posséder des mécanismes inhibiteurs incomplètement développés qui augmentent ce risque.

Ces mêmes études devraient aussi être étendues à un groupe de personnes qui se disent hypersensibles aux radio-fréquences sans qu'aucune pathologie précise n'ait pu être par ailleurs détectée, ainsi qu'à un autre groupe se plaignant de symptômes subjectifs (céphalées, sensations de chaleur cutanée, troubles de l'attention ou de la mémoire...) associés à l'usage des téléphones mobiles (cf. étude scandinave et à Singapour). Sur ces groupes particuliers, on pourrait envisager des études en double-aveugle avec exposition ou non aux ondes GSM dans des conditions expérimentales par ailleurs identiques.

Le groupe d'experts propose enfin que soit entreprise une recherche sur un éventuel effet nocebo, dû à la médiatisation des dangers potentiels des mobiles. Les modalités et le protocole précis d'une telle étude restent à définir, mais elle pourrait par exemple porter sur un groupe de volontaires sains, de même sexe et de même classe d'âge, qui, après enquête, se révéleraient convaincus ou non, à des degrés divers, de la nocivité des GSM. Ces volontaires seraient exposés aux micro-ondes aux fins d'analyses identiques à celles décrites plus haut.

### **c- Etudes épidémiologiques**

Hormis le risque d'accident de circulation lié à l'utilisation du téléphone mobile pendant la conduite, qui est clairement avéré et grave, les autres effets pour la santé humaine restent actuellement à l'état d'hypothèses plus ou moins argumentées. Il est donc nécessaire, comme le recommandent tous les comités qui se sont prononcés sur la question, de développer des recherches épidémiologiques, d'autant que certains des effets envisagés sont graves du fait de leur sévérité et/ou du nombre élevé de cas potentiellement attribuables à l'utilisation des téléphones mobiles.

Les recommandations pour la recherche épidémiologique doivent être distinguées selon la nature des effets attendus, en séparant notamment cancer et effets bénins à court terme (céphalées, migraines, troubles du sommeil, « syndrome des radiofréquences », etc.). En effet, les protocoles épidémiologiques diffèrent considérablement par leur méthode, leur faisabilité et leur coût selon les effets à étudier.

#### *Effets bénins à court terme*

**C'est de façon prioritaire l'exposition aux téléphones mobiles qui doit être étudiée, plus que la proximité des bases, en raison des très faibles niveaux d'exposition correspondant à celles-ci.** Des protocoles divers peuvent être mis en œuvre : études transversales, études cas-témoins et cohortes prospectives.

Les *études transversales* sont relativement faciles à réaliser et peuvent être menées rapidement à moindre coût, mais ont des limites sévères en termes d'interprétation de causalité ; elles ne peuvent apporter que des hypothèses, et ne permettent jamais de conclure. S'il est possible d'obtenir des données d'utilisation de la part des opérateurs pour les mêmes sujets, la validité de telles études serait renforcée. Une étude transversale reposant sur un échantillonnage permettant de contraster de façon adéquate la résidence à proximité de base pourrait avoir une utilité en termes de génération d'hypothèses, ou pour infirmer des effets qui sont actuellement sans fondement scientifique.

Les *études cas-témoins* présentent également des difficultés d'interprétation si elles ne suivent pas un protocole particulièrement rigoureux pour éviter les biais d'information, car les sujets considérés comme des cas ont certainement plus tendance à attribuer leurs troubles à l'utilisation du téléphone dans un contexte où la possibilité d'effets de santé des téléphones est largement médiatisée.

Les *études de cohorte prospective* (« contemporaines ») sont les mieux adaptées, car elles permettent de prendre en compte l'étude d'effets très diversifiés, ainsi que l'évolution au cours du temps des technologies et des modes d'utilisation des téléphones mobiles si la durée de suivi est suffisamment longue. Les effets bénins soupçonnés sont essentiellement fréquents et à court terme. De ce fait, il n'est pas nécessaire de mettre en place des cohortes de très grande taille, et des résultats fiables pourraient être obtenus assez rapidement, surtout s'il est possible de disposer de données d'utilisation effective des téléphones mobiles de la part des opérateurs. On pourrait proposer de s'appuyer sur des cohortes prospectives existantes, comme les cohortes SUVIMAX ou GAZEL, pour y greffer des études spécifiques sur les effets des téléphones mobiles, ce qui présenterait plusieurs avantages (économie, rapidité), puisqu'elles sont déjà en place et qu'elles disposent déjà depuis plusieurs années, pour certaines, de recueils de données sur les effets d'intérêt. Une telle approche méthodologique permettrait d'inclure aisément et de façon économique des études sur le « bien-être », comme le recommande le rapport Stewart.

Les groupes fragiles ou sensibles doivent faire l'objet d'études spécifiques, ainsi que les sujets très exposés en milieu professionnel. A côté d'études en population générale, il serait donc judicieux de proposer des études concernant notamment les enfants, les adolescents, les sujets migraineux, ainsi que des études dans des entreprises ou des professions choisies de façon adéquate.

#### *Accidents de circulation*

Bien que le risque d'accident occasionné par l'utilisation de téléphone mobile pendant la conduite de véhicules soit clairement avéré et élevé, le groupe d'experts recommande la réalisation de nouvelles recherches épidémiologiques en France, pour deux raisons : (i) il serait utile de disposer de données épidémiologiques comparant les risques respectivement associés à l'usage du téléphone mains libres et à la conversation avec un passager, afin de confirmer les résultats de travaux expérimentaux sur ce point ; (ii) sur le plan de la prévention, des résultats acquis dans le contexte national auraient à l'évidence un plus fort impact sur le public (et les pouvoirs publics) pour mettre en œuvre de façon plus efficace qu'aujourd'hui les mesures qui s'imposent.

#### *Cancer*

Concernant les stations de base, les données disponibles ne donnent aucune indication de l'existence d'un risque. Néanmoins, en raison de la demande sociale, s'il était possible de vérifier ce point, le groupe d'experts recommanderait de le faire. Mais aucune des méthodes épidémiologiques disponibles (écologiques, cas-témoins ou de cohortes...) ne permettrait de produire des informations valides en raison du caractère infinitésimal, s'il existe, du risque, et du nombre élevé de facteurs de confusion potentiels.

Divers types d'étude peuvent être réalisées au sujet des téléphones mobiles : études écologiques, études cas-témoins en population, études de cohorte, registres de sujets exposés. Les *études écologiques* ne paraissent pas appropriées en l'état actuel des connaissances.

Les *études cas-témoins en population* sont clairement le protocole de choix au stade actuel pour tenter de répondre rapidement aux interrogations concernant les effets cancérigènes de l'utilisation du téléphone mobile. En raison du caractère relativement récent de l'usage des « kits mains libres » et du recul nécessaire, cette approche rétrospective ne peut concerner que les tumeurs du cerveau, du nerf acoustique et des glandes salivaires. Aujourd'hui, alors que les résultats de l'énorme étude du CIRC (projet 'Interphone', étude cas-témoins sur les tumeurs du cerveau, du nerf acoustique et - mais pas en France - de la parotide) qui est en cours dans 13 pays, avec un effectif de

cas garantissant une excellente puissance seront disponibles dans 3 ou 4 ans, il n'est certainement pas raisonnable de proposer de développer de nouvelles études de ce type en France, alors même qu'une équipe française participe à l'étude internationale du CIRC. Il faudrait veiller au financement de la partie française de cette étude.

Par contre, il serait important d'insister sur l'intérêt des grandes *études de cohorte professionnelle de mortalité*, comme il en existe plusieurs dans divers pays. Ce type d'étude est relativement facile à mettre en place en France, grâce aux nouveaux dispositifs de suivi de la mortalité. Par ailleurs, il existe un contexte *a priori* favorable : existence de grandes entreprises disposant de fichiers informatisés du personnel incluant des histoires professionnelles complètes, d'équipes techniques et de recherche connaissant bien les expositions diverses aux radiofréquences et aux autres cancérigènes potentiels. Il faudra cependant veiller à mettre en place les dispositifs qui garantissent la qualité méthodologique (il n'existe pas d'équipes d'épidémiologie dans les entreprises) et l'indépendance des recherches. L'enregistrement de certaines catégories de travailleurs '*très exposés*', proche de la recommandation du rapport Stewart, pourrait être effectué en parallèle de la constitution de telles cohortes professionnelles qui peuvent en constituer la base principale, même s'il serait judicieux de les compléter par d'autres types d'utilisateurs ; de tels registres doivent évidemment être couplés avec un suivi de la mortalité par causes.

L'idée d'une *cohorte en population* proposée par le rapport Stewart semble difficile à mettre en œuvre pour ce qui concerne les risques de cancer, en raison de l'effectif énorme qu'il faudrait mobiliser et suivre durant de très longues années ; en tout état de cause, un tel effort ne peut se concevoir qu'à l'échelle internationale (il faut cependant considérer qu'à juste titre, le CIRC n'a pas choisi un tel protocole, mais une approche cas-témoins).

Il faut également, dans une *optique de surveillance à long terme* (voir plus loin), s'interroger sur les évolutions technologiques en cours et à venir, ainsi que sur les modifications dans les modalités d'utilisation du téléphone mobile qui amènent à exposer d'autres parties du corps. Actuellement, s'il est clairement prématuré d'envisager des études cas-témoins concernant d'autres localisations de cancer, on peut penser que la mise en place de cohortes prospectives en milieu professionnel est la meilleure réponse à cette préoccupation.

#### Autres recherches épidémiologiques

Les travaux visant à mieux *connaître les expositions au niveau populationnel* (incluant des « registres » de personnes 'plus fortement' exposées, comme on l'a signalé plus haut), sont nécessaires pour diverses raisons : (i) du fait des préoccupations du public concernant les effets éventuels du téléphone mobile, il est justifié de pouvoir donner une information fiable et indépendante des expositions dans la population ; (ii) plusieurs des protocoles épidémiologiques envisagés ici seront largement facilités par la disponibilité de données d'exposition au niveau populationnel.

Ces travaux peuvent prendre diverses formes : campagnes de dosimétries individuelles , modélisation à partir des données concernant les stations de base et l'utilisation du téléphone mobile.

Des *recherches en sciences sociales* sont nécessaires : aspects psychologiques et sociologiques de l'usage des téléphones mobiles, comportements des utilisateurs, perception du risque associé au téléphone mobile, notamment, sont des domaines pour lesquels des études de qualité auront une importance considérable quand on considère qu'une « *situation de crise* » est en voie d'émergence.

### **d- Surveillance épidémiologique**

La lettre de mission du groupe d'experts l'interrogeait sur l'opportunité de mettre en place un dispositif de surveillance d'effets possibles de l'exposition aux RF. Comme pour les axes de

recherche, le groupe d'experts considère que la priorité, dans ce domaine, concerne les conséquences possibles de l'utilisation des téléphones plutôt que le voisinage de stations de base.

La finalité première de la surveillance étant de produire des informations à visée décisionnelle, l'un des premiers critères sur lequel doit porter la réflexion sur la pertinence de mettre en place une surveillance épidémiologique est celui de l'évidence des faits scientifiques qui doivent être suffisamment étayés pour qu'une augmentation de l'exposition de la population aux champs électriques et magnétiques résultant de l'utilisation des téléphones mobiles, s'accompagne effectivement d'un accroissement des risques sanitaires associés.

On peut cependant parfois envisager une surveillance épidémiologique sans que les faits scientifiques ne suggèrent une association. En effet, un des autres objectifs de la surveillance épidémiologique est de produire de l'information visant à générer des hypothèses permettant, notamment, de contribuer à identifier des facteurs de risque d'affections ou de pathologies. Dans ce cadre, la surveillance épidémiologique constitue un des outils de l'épidémiologie descriptive. Sa valeur décisionnelle est, dans ce cas, relativement faible, mais sa pertinence peut être avérée lorsque la démarche de surveillance permet de recueillir de manière efficiente l'information nécessaire à cet objectif de génération d'hypothèses.

Enfin, lorsqu'une question relative à un risque fait l'objet d'une forte interrogation sociale, et si les connaissances scientifiques font défaut pour apporter des éléments de réponse satisfaisante, la surveillance épidémiologique peut être également envisagée afin de recueillir les données permettant de surveiller l'objet de cette interrogation sociale.

Dans les deux derniers cas mentionnés ci-dessus, le critère de faisabilité et le rapport coûts-bénéfices doivent être discutés par rapport à d'autres approches, qu'il s'agisse, notamment, de l'expérimentation animale ou humaine.

Le cas des effets sanitaires possiblement associés à la téléphonie mobile rentre-t-il dans ce cadre ?

- En ce qui concerne le risque de cancers, il existe déjà dans certains départements des registres couvrant notamment les cancers du cerveau. La mortalité en lien avec le cancer fait aussi l'objet d'un enregistrement exhaustif sur l'ensemble du territoire. L'évidence scientifique sur le rôle de l'exposition aux RF associées aux téléphones mobiles est très limitée, comme il est dit plus haut. Il semble dès lors préférable d'attendre les résultats de l'étude cas-témoins multicentrique coordonnée par CIRC avant de se prononcer sur la systématisation de la surveillance éventuelle de ces pathologies à partir du dispositif national des registres. En effet, la spécificité de l'association entre l'exposition aux champs électromagnétiques et l'incidence des cancers (ou la connaissance de la part attribuable de cette exposition dans l'incidence de ces pathologies) revêt ici une importance particulière dans la mesure où l'un des principaux objectifs de la surveillance sera d'évaluer l'évolution des tendances spatiales et temporelles. Une faible spécificité, s'agissant de surcroît d'une morbidité rare (avec un risque annuel de l'ordre de  $10^{-5}$ ), rendrait d'autant plus difficile l'interprétation de ces évolutions.
- **En revanche, en ce qui concerne les troubles subjectifs déclarés par les personnes, qui demeurent actuellement mal définis (maux de tête, troubles de l'attention ou de la mémoire, sensations de chaleur...), un dispositif de surveillance épidémiologique peut être envisagé afin de :**
  - mieux caractériser ce phénomène ;
  - mesurer et surveiller l'évolution au cours du temps de l'importance de ce problème ;
  - générer des hypothèses étio-pathogéniques.

Dans ce cadre, la première étape pourrait être la mise en place d'une enquête descriptive basée sur un recueil actif des événements auto-déclarés auprès des utilisateurs de téléphones mobiles via un système actif d'information développé en collaboration avec les opérateurs. Cette enquête permettrait de mieux caractériser ce phénomène et d'identifier éventuellement des groupes particuliers d'utilisateurs auprès desquels des études épidémiologiques de type analytique (enquête cas-témoins) pourraient être secondairement menées, ou pour lesquels une surveillance ciblée pourrait être mise en place.

Si ce phénomène venait à être confirmé, il faudrait sans doute alors recourir à la mise en place d'une enquête de type cohorte, afin d'en étudier la valeur prédictive du point de vue de divers troubles de santé, tels que des troubles neurologiques, par exemple. Ultérieurement, en fonction des résultats obtenus, il pourrait être envisagé soit de répéter cette étude dans le temps, soit de constituer un registre de déclaration de ces plaintes. Cela permettrait, si les connaissances scientifiques confirmaient la réalité de ce phénomène, de disposer de données historiques permettant d'en surveiller l'évolution au cours du temps en fonction de l'augmentation à venir de la prévalence et des modifications des conditions de l'exposition aux champs électromagnétiques de la population via l'utilisation des téléphones mobiles.

### **3- Financement et organisation de la recherche**

Le financement des études doit intégrer une contribution importante des entreprises qui opèrent dans le domaine de la téléphonie mobile. En effet, les constructeurs d'équipements comme les opérateurs tirent un bénéfice de cette industrie, et il est donc logique qu'ils participent au financement des recherches concernant le téléphone mobile. Les dispositifs possibles peuvent consister en une taxe périodiquement révisable en fonction à la fois du nombre d'abonnements souscrits et des besoins financiers de la recherche, taxe qui pourrait soit être imposée par les pouvoirs publics, soit reposer sur des contributions volontaires des industriels et des opérateurs.

Le groupe d'experts recommande qu'une partie importante, voire majoritaire, des financements de la recherche provienne des pouvoirs publics, qui doivent garder la maîtrise des recherches. Ainsi, un financement issu pour moitié des industriels/opérateurs et, pour l'autre moitié, du domaine public (grands organismes de recherche, Santé Publique, Commission Européenne) pourrait être envisagé.

Quels que soient les dispositifs retenus, ils doivent toujours garantir absolument l'indépendance des comités de programmation, de sélection des projets et des équipes de recherche. A cet effet, il est indispensable que les contributions des industriels et opérateurs n'interfèrent pas avec le choix des axes et le suivi des recherches. Ceci implique que les financements des industriels et opérateurs transitent, soit par l'État, soit par une structure ou « *fondation* » sous contrôle public.

A cet effet, il semble important de constituer à l'échelon national et européen des "comités" permanents d'experts. Ces experts devraient être choisis dans les différentes disciplines scientifiques et dans les administrations gouvernementales en relation avec le problème posé. Selon les règles déjà en usage dans différents programmes de recherche, les experts impliqués dans des projets soumis pour financement à ces instances devraient être exclus des débats les concernant. A l'échelon national, ce comité pourrait être constitué de membres nommés par les grands organismes scientifiques (CNRS, INSERM) et par l'administration de la Santé Publique. Il aurait en charge plusieurs missions :

- établir un bilan public périodique des connaissances;
- déterminer en fonction de ce bilan les thèmes de recherche prioritaires à développer;
- publier des appels d'offre correspondant à ces thèmes;

- attribuer sur dossier les dotations en financement privés en réponse aux offres des laboratoires.

Ce type d'attribution devrait permettre une transparence totale dans la gestion la nature, la conduite et la progression des travaux ainsi que sur le contenu des publications scientifiques qui en découlent.

A l'échelon international, le comité national aurait également un rôle de proposition et de coordination des programmes de recherche en liaison avec le ou les comité(s) européen(s) concerné(s) si ceux-ci sont constitués.

L'effort actuel de financement de la recherche dans ce domaine, en totalisant les contributions publiques et privées, qui est actuellement de l'ordre de 7 millions de Francs (hors salaires) devrait être poursuivi au moins 5 ans. Cet effort ne concerne que les études en laboratoire ; il convient donc d'abonder en plus la recherche épidémiologique dans ce domaine, qui n'a pas de financement actuellement.

## BIBLIOGRAPHIE GENERALE SUR LES RF ET LA SANTE

(A) Colloque du CADAS (2000)

(C) Royal Society of Canada (1999)

(E) COST 244 bis (1999)

(K) 'Mc Kinlay' (1996)

(S) 'Stewart' (2000)

(R) Articles récents

1. Adair, E.R. and B.W. Adams, *Microwaves Induced Peripheral Vasodilatation in Squirrel Monkey*. Science, 1980. **207**(4437): p. 1381-1383 (C).
2. Adair, E.R., et al., *Sensation, Subtleties, and Standards: Synopsis of a Panel Discussion*. Microwaves and Thermoregulation. E. R. Adair, ed. New York: Academic Press:231-238, 1983: p. (S).
3. Adair, E., *Thermal physiology of radiofrequency radiation interactions in animals and humans*. NATO ASI Series A: Life Sciences. Klauenberg BJ, Grandolfo M, Erwin N, eds. Radiofrequency Radiation Standards. Biological Effects, dosimetry, epidemiology, and public health policy, 1990. **274**: p. 245-269 (K).
4. Adair, R.K., *Effects of weak high-frequency electromagnetic fields on biological systems*. Radiofrequency Radiation y Radiation Standards (B J Klauenberg, M Grandolfo and D N Erwin, Eds). New York, Plenum Press, 1994: p. 207 (S).
5. Adair, E.R., et al., *Human Exposure at Two Radio Frequencies (450 and 2450 MHz) : Similarities and Differences in Physiological Response*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**:(Suppl 4): p. (Suppl 4):12-20 (S).
6. Adey, W.R., *Tissue Interactions With NonIonizing Electromagnetic Fields*. Physiol Rev, 1981. **61**(2): p. 435-514 (S).
7. Adey, W.R., S.M. Bawin, and A.F. Lawrence, *Effects of weak amplitude-modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex*. Bioelectromagnetics, 1982. **3**(3): p. 295-307 (S) (C).
8. Adey, W.R., *The extracellular space and energetic hierarchies in electrochemical signalling between cells*. Charge and Field Effects in Biosystems 2 (M J Allen, S F Cleary and F M Hawkrigde, Eds). New York, Plenum Press, 1989: p. 264 (S).
9. Adey, W.R., *Biological effects of electromagnetic fields*. J Cell Biochem, 1993. **51**(4): p. 410-416 (S).
10. Adey, W., *Electromagnetics in biology and medicine*. Matsumoto H, ed. Modern science. Oxford; Oxford University Press, 1993: p. 227-45 (K).
11. Adey, W.R., et al., *Brain tumour incidence in rats chronically exposed to digital cellular fields in an initiation-promotion model (Meeting Abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 18th Annual Meeting, 9-14 June, Victoria, British Columbia, Canada, 1996: p. 27 (A) (C).
12. Adey, W., *Amplitude modulation dependent bioeffects in RF fields: mobile communications and potential health effects*. Proceedings of the General Assembly of URSI, September 1996. Lille, France, 1996: p. K31 (K).
13. Adey, W., *Bioeffects of mobile communications fields; Possible mechanisms for cumulative dose*. Kuster N, Balzano Q and Lin J, eds. Progress in assessment of mobile communications safety. Chapman Hill, New York, in Press, 1996: p. (K).
14. Adey, W.R., et al., *Brain tumour incidence in rats chronically exposed to frequency-modulated (FM) cellular phone fields (Meeting abstract)*. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June, Bologna, Italy, 1997: p. 109 (C).
15. Adey, W.R., et al., *Spontaneous and nitrosurea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves*. Radiat Res, 1999. **152**(3): p. 293-302 (A) (E) (S).
16. Ahlbom, A., *Some fundamental aspects of epidemiology with reference to research on magnetic fields and cancer*. Non-Ionizing Radiation. Proceedings: Third International Non-ionizing Radiation Workshop, Baden, Austria, April 22-26, 1996, R. Matthes, ed., 1996: p. 17-27 (E).

17. Ahlbom, A. and M. Feychting, *Re: Use of cellular phones and the risk of brain tumours: a case-control study [Letter]*. Int J Oncol, 1999. **15**(5): p. 1045-1047 (S).
18. Alam, M.T., et al., *Cytological effects of microwave radiation in Chinese hamster cells in vitro*. Can J Genet Cytol, 1978. **20**(1): p. 23-30 (S) (C).
19. Albert, E.N. and S.M. De, *Do Microwaves Alter Nervous System Structure?* Ann NY Acad Sci, 1975. **247**: p. 87-108 (C).
20. Albert, E.N., *Light and electron microscopic observations on the blood-brain barrier after microwave irradiation*. In *Symposium on Biological Effects and Measurements of Radiofrequency Microwaves*. Washington DC: DHEW (HEW Publications), FDA77-8026, 1977: p. p294-304 (C).
21. Albert, E.N.a.D., M., *Histological observations on central nervous system, in Biological Effects of Electromagnetic Waves*. Johnson C.C. and Shore, M.L. Eds. HEW Publ. (FDA) 77-8010. Department of Health, Education and Welfare, Rockville MD, 1976, 1977. **1**: p. 299 (C).
22. Albert, E.N., *Light and electron microscopic observations on the blood-brain barrier after microwave irradiation*. Symposium on Biological Effects and Measurement of Radiofrequency/Microwaves, 16-18 February 1977, Rockville, MD, D. G. Hazzard, ed. Sponsored by BRH and WHO Collaborating Center for Standardization of Protection Against Nonionizing Radiation. HEW Publication (FDA) 77-8026:, 1977: p. 294-304 (S).
23. Albert, E.N., *Reversibility of microwave-induced blood-brain barrier permeability*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 323-327 (S).
24. Albert, E.N. and J.M. Kerns, *Reversible microwave effects on the blood-brain barrier*. Brain Res, 1981. **230**(1/2): p. 153-164 (K) (S) (C).
25. Albert, E.N., et al., *Effect of amplitude modulated 147 MHz radiofrequency radiation on calcium ion efflux from avian brain tissue*. Radiat Res, 1987. **109**(1): p. 19-27 (S).
26. Allis, J.W. and B.L. Sinha-Robinson, *Temperature-specific inhibition of human cell Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase by 2450 MHz microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1987. **8**(2): p. 203-212 (E) (C).
27. Alm, H. and L. Nilsson, *Changes in driver behaviour as a function of handsfree mobile phones - a simulator study*. Accid Anal Prev, 1994. **26**: p. 441 (S).
28. Alm, H. and L. Nilsson, *The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation*. Accid Anal Prev, 1995. **27**: p. 707 (S).
29. Altpeter, E., et al., *Study on health effects of shortwave transmitter station of Schwarzenburg, Bern, Switzerland*. (Major Report). Bern: Univ Bern; BEW Publication Series, 1995. **Study No 55**: p. (K).
30. Anane, R., et al., *Effects of whole-body exposure to GSM microwaves on rat bearing DMBA-induced tumours (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. 15-6, 1999: p. 90 (E).
31. Andersen, J., et al., *On the possible health effects related to GSM and DECT transmissions*. Aalborg; Aalborg University: Report to the European Commission, 1995: p. (K).
32. Anderson, V. and K.H. Joyner, *Specific absorption rate levels measured in a phantom head exposed to radio frequency transmissions from analog hand-held mobile phones*. Bioelectromagnetics, 1995. **16**(1): p. 60-69 (C).
33. Anderstam, B., et al., *Studies of possible genetic effects in bacteria of high frequency electromagnetic fields*. Hereditas, 1983. **98**(1): p. 11-32 (S) (C).
34. Antipenko, E.N. and I.V. Koveshnikova, *Cytogenetic effects of microwaves of non-thermal intensity in mammals*. Dokl Akad Nauk SSSR, 1987. **296**: p. 724-726 (S) (C).
35. Antonopoulos, A., H. Eisenbrandt, and G. Obe, *Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro*. Mutat Res, 1997. **395**(2-3): p. 209-214 (E) (S) (C).
36. Apollonio, F., G. D'Inzeo, and L. Tarricone, *Modelling of neuronal cells exposed to RF fields from mobile telecommunication equipment*. Bioelectrochem Bioenerg, 1998. **47**(2): p. 199-205 (E).
37. Apollonio, F., G. D'Inzeo, and L. Tarricone, *Neuronal cells under electromagnetic exposure: a link between microscopic and macroscopic*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
38. Arber, S.L. and J.C. Lin, *Microwave enhancement of membrane conductance: effects of EDTA, caffeine and tetracaine*. Physiol Chem Phys Med NMR, 1984. **16**(6): p. 469-475 (K) (S) (C).
39. Arber, S.L. and J.C. Lin, *Microwave-induced changes in nerve cells: effects of modulation and temperature*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(3): p. 257-270 (K) (S) (C).

40. Arkin, H., L.X. Xu, and K.R. Holmes, *Recent developments in modeling heat transfer in blood perfused tissues*. IEEE Trans Biomed Eng, 1994. **41**: p. 97 (S).
41. Armstrong, B., et al., *Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada and France*. Am J Epidemiol, 1994. **140**(9): p. 805-820 (C).
42. Asanami, S. and K. Shimono, *High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow*. Mutat Res, 1999. **390**: p. 79-83 (S) (C).
43. Athey, T.W. and B.A. Krop, *Millimetre wave induction of lamda prophage - dependent on growth medium? (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 2nd Annual Meeting, 14-18 September, 1980, San Antonio, TX. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(2): p. 241-241 (S).
44. Auvinen, M., et al., *Ornithine decarboxylase activity is critical for cell transformation*. Nature, 1992. **360**: p. 355-358 (C).
45. Auvinen, M., et al., *Ornithine decarboxylase- and ras-induced cell transformations: protein tyrosine kinase inhibitors and role of pp130CAS*. Mol. Cell Biol, 1995. **15**: p. 6513-6525 (C).
46. Auvinen, M., et al., *Human ornithine decarboxylase-overproducing NIH3T3 cells induce growing, highly vascularized tumours in nude mice*. Cancer Res, 1997. **54**: p. 3016-3025 (C).
47. Averbek, D., M. Dardalhon, and A.-J. Berteaud, *Microwaves action in procaryotic and eucaryotic cells and a possible interaction with x-rays (Symposium Summary)*. J Microw Power, 1976. **11**(2): p. 143-144 (S) (C).
48. Bach Andersen, J., et al., *On the possible health effects related to GSM and DECT transmissions*. Report of a contract with the European Commission, 1995: p. (E).
49. Balcer-Kubiczek, E.K. and G.H. Harrison, *Evidence for microwave carcinogenesis in vitro*. Carcinogenesis, 1985. **6**(6): p. 859-864 (K) (A) (S) (C).
50. Balcer-Kubiczek, E.K. and G.H. Harrison, *Induction of neoplastic transformation in C3H/10T1/2 cells by 2.45-GHz microwaves and phorbol ester*. Radiat Res, 1989. **117**(3): p. 531-537 (K) (A) (S) (C).
51. Balcer-Kubiczek, E.K. and G.H. Harrison, *Neoplastic transformation of C3H/10T1/2 cells following exposure to 120-Hz modulated 2.45-GHz microwaves and phorbol ester tumor promoter*. Radiat Res, 1991. **126**(1): p. 65-72 (K) (A) (E) (S) (C).
52. Balode, Z., *Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in Bovine peripheral erythrocytes*. Science Total Environment, 1996. **180**: p. 81-85 (S) (C).
53. Balzano, Q., N. Kuster, and J.C. Lin, *Mobile Communications Safety*. Mobile Communications Safety. London: Chapman and Hall. 296 pp., 1997. **4**: p. (A) (E).
54. Balzano, Q., *Exposure metrics for RF epidemiology: cellular phone handsets*. Radiat Prot Dosim; Proceedings of an International Workshop : Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology; National Radiation Protection Board, Chilton, UK, 7-9 September, 1998, 1999. **83**(1-2): p. 165-169 (E).
55. Banerjee, R., A. Goldfeder, and J. Mitra, *Sister chromatid exchanges and chromosome aberrations induced by radio sensitizing agents in bone marrow cells of treated tumor-bearing mice*. JNCI, 1983. **70**: p. 517-521 (C).
56. Baranski, S., S.L. Arber, and J.C. Lin, *Histological and histochemical effects of microwave irradiation on the central nervous system of rabbits and guinea pigs*. Am J Physiol Med, 1972. **51**: p. 182-190 (K) (S) (C).
57. Baranski, S., et al., *Influence of microwaves on genetical processes of Aspergillus nidulans*. J. Microw. Power, 1976. **11**: p. 146-147 (C).
58. Baranski, S. and P. Czerski, *Biological effects of microwaves*. Stroudsburg, USA; Dowden, Hutchinson, Ross, 1976: p. (K).
59. Barbaro, V., et al., *Do European GSM mobile cellular telephones pose potential risk to pacemaker patients?* Pacing Clin Electrophysiol, 1995. **18**: p. 1218-1224 (K).
60. Bardou, A., *Avis relatif aux téléphones cellulaires*. 13ème Rapport de la Commission de la Sécurité des Consommateurs au Président de la République et au Parlement, Direction des Journaux officiels, 1997: p. 107-195 (A).
61. Barnett, S., *CSIRO report on the status of research on the biological effects and safety of electromagnetic radiation: telecommunications frequencies*. Chatswood, Australia; CSIRO, 1994: p. (K).

62. Bassen, H.I., et al., *Evaluation of RF interference with medical devices from mobile communication transceivers (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 16th Annual Meeting, 12-17 June, Copenhagen, Denmark, 1994: p. 66-67 (K).
63. Bassett, A., *Therapeutical uses of electric and magnetic fields in orthopedics*. Biological Effects of Electric and Magnetic Fields : Beneficial and Harmful Effects. D. O. Carpenter and S. Ayrapetyan, eds., San Diego: Academic Press, 1994. **II**: p. 13-48 (K).
64. Baum, S.J., et al., *Biological measurements in rodents exposed continuously throughout their adult life to pulsed electromagnetic radiation*. Health Phys, 1976. **30**(2): p. 161-166 (S).
65. Bawin, S.M., R.J. Gavalas-Medici, and W.R. Adey, *Effects of modulated very high frequency fields on specific brain rhythms in cats*. Brain Res, 1973. **58**(2): p. 365-384 (S).
66. Bawin, S.M., R.J. Gavalas-Medici, and W.R. Adey, *Reinforcement of transient brain rhythms by amplitude-modulated VHF fields*. Biological and Clinical Effects of Low Frequency Magnetic and Electric Fields (J G Llauro, A Sances and J H Battocletti, Eds). Springfield, Charles C Thomas, 1974: p. 172 (S).
67. Bawin, S.M., L.K. Kaczmarek, and W.R. Adey, *Effects of modulated VHF fields on the central nervous system*. Ann N Y Acad Sci, 1975. **247**: p. 74-81 (K) (S) (C).
68. Bawin, S.M. and W.R. Adey, *Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency*. Proc Natl Acad Sci U S A, 1976. **73**(6): p. 1999-2003 (C).
69. Bawin, S.M., Sheppard, A. and Adey, W.R., *Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue*. Bioelectrochem Bioenerg, 1978. **5**: p. 67-76 (C).
70. Bawin, S.M., W.R. Adey, and I.M. Sabbot, *Ionic factors in release of  $^{45}\text{Ca}^{2+}$  from chicken cerebral tissue by electromagnetic fields*. Proc Natl Acad Sci U S A, 1978. **75**(12): p. 6314-6318 (K).
71. Beaglehole, R., R. Bonita, and T. Kjellström, *Basic epidemiology*. Geneva: World Health Organization, 1993: p. 175 (E).
72. Beall, C., et al., *Brain tumors among electronics industry workers*. Epidemiology, 1996. **7**: p. 125-130 (K).
73. Beechey, C.V., et al., *Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the mouse*. Int J Radiat Biol, 1986. **50**(5): p. 909-918 (K) (A) (S) (C).
74. Bell-Fernandez C, P.G., Cleveland JL., *The ornithine decarboxylase gene is a transcriptional target of c-myc*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1993. **90**: p. 7804-7808 (C).
75. Belyaev, I.Y., *Some biophysical aspects of the genetic effect of low-intensity millimeter waves*. Bioelectrochem Bioenerg, 1992. **27**(1): p. 11-18 (S).
76. Berman, E., J.B. Kinn, and H.B. Carter, *Observations of mouse fetuses after irradiation with 2.45 GHz microwaves*. Health Phys, 1978. **35**: p. 791 (S).
77. Berman, E., H.B. Carter, and D. House, *Tests for mutagenesis and reproduction in male rats exposed to 2450 MHz (CW) microwaves*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**: p. 65-76 (S) (C).
78. Bernardi, P., M. Cavagnaro, and S. Pisa, *Evaluation of the SAR distribution in the human head for cellular phones used in a partially closed environment*. IEEE Trans Electromagn Compat, 1996. **38**(3): p. 357-366 (E).
79. Bernardi, P., et al., *Evaluation of SAR and temperature distribution in subjects exposed in the far-field of radiating radio frequency sources*. Proc. Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility, Rome (Italy), 1998: p. 190-193 (E).
80. Bernardi, P., et al., *A cell model to evaluate EM field absorption in biological samples: a sensitivity and relevance analysis (Meeting abstract)*. European Bioelectromagnetics Assoc. (EBEA), 4th International Congress, 19-21 November, Zagreb, Croatia, 1998: p. (E).
81. Bernardi, P., et al., *Evaluation of the power absorbed in subjects exposed to EM fields in partially closed environments by using a combined analytical-FDTD method*. Proceedings IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Anaheim, California, 1999: p. 599-602 (E).
82. Bernardi, P., et al., *SAR and temperature increases induced in the head of a cellular phone user (Meeting abstract)*. Proceedings of the 26th General Assembly of URSI, Toronto, Canada, 1999: p. (E).
83. Berteaud, A.J., et al., *Action d'un rayonnement electromagnetique sur la croissance bacterienne (Effect of an electromagnetic microwave radiation on the growth of bacteria)*. C R Acad Sci Paris, 1975. **281**: p. 843-846 (C).

84. Betancur, C., G. Dell'Omo, and E. Alleva, *Magnetic field effects on stress-induced Analgesia in mice: Modulation of light*. *Neurosci Lett*, 1994. **182**(2): p. 147-150 (C).
85. Bianco, B., et al., *Enhancement of the interaction between low-intensity R.F. e.m. fields and ligand binding due to cell basal metabolism*. *Wireless Networks*, 1997. **3**: p. 477-487 (E).
86. Bisht, K., et al., *The effect of radiofrequency radiation with modulation relevant to cellular phone communication (835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA) on the induction of micronuclei in C3H 10T1/2 cells*. Bioelectromagnetics Society, 22th Annual Meeting, Munich, juin 2000, 2000: p. (R).
87. Blackman, C.F., M.C. Surles, and S.G. Benane, *The effect of microwave exposure on bacteria: mutation induction*. Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the UNSC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 1975 (C C Johnson and M L Shore, Eds). Rockville, Maryland, US Department of Health, Education and Welfare, 1976. **1**: p. 406-413 (S) (C).
88. Blackman, C.F., et al., *Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of modulation frequency and field strength*. *Radio Sci*, 1979. **14** (S): p. 93-98 (K) (S) (C).
89. Blackman, C.F., et al., *Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window*. *Bioelectromagnetics*, 1980. **1**(1): p. 35-43 (K) (S) (C).
90. Blackman, C.F., et al., *Calcium-ion efflux from brain tissue: power-density versus internal field-intensity dependencies at 50-MHz RF radiation*. *Bioelectromagnetics*, 1980. **1**(3): p. 277-283 (S) (C).
91. Blackman, C., et al., *Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window*. *Bioelectromagnetics*, 1980. **12**: p. 173-182 (C).
92. Blackman, C., *Genetics and mutagenesis*. Biological Effects of Radiofrequency Radiation, EPA-600/8-83-026F; edited by Elder JA, Cahill DF. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1984: p. 5-94-5-105 (C).
93. Blackman, C.F., et al., *Multiple power density windows and their possible origin*. *Bioelectromagnetics*, 1989. **10**(2): p. 115 (S).
94. Blackman, C.F., S.G. Benane, and D.E. House, *The influence of temperature during electric and magnetic field induced alteration of calcium-ion release from in vitro brain tissue*. *Bioelectromagnetics*, 1991. **12**(3): p. 173-182 (K) (C).
95. Blackshear, P., et al., *High level, cell-specific expression of ornithine decarboxylase transcripts in rat genitourinary tissues*. *Mol. Endocrinol*, 1989. **3**: p. 68-78 (C).
96. Blackwell, R.P. and R.D. Saunders, *The effects of low-level radiofrequency and microwave radiation on brain tissue and animal behaviour*. *Int J Radiat Biol*, 1986. **50**(5): p. 761-787 (S).
97. Blessing, M., et al., *Transgenic mice as a model to study the role of TGF-b related molecules in hair follicles*. *Genes Deve*, 1993. **7**: p. 204-215 (C).
98. Blevins, R.D., et al., *The effects of microwave radiation and heat on specific mutants of Salmonella typhimurium LT2*. *Radiat Res*, 1980. **82**(3): p. 511-517 (S) (C).
99. Boheim, G.H., et al., *Evidence for membrane bound water interaction with RF-fields (Meeting abstract )*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA,, 1999: p. Abstract No. 7-4, 46 (E).
100. Bohr, H. and J. Bohr, *Microwave Enhanced Kinetics Observed in ORD Studies of a Protein*. *Bioelectromagnetics*, 2000. **21**(1): p. 68-72 (S).
101. Borbely, A.A., et al., *Pulsed high-frequency electromagnetic fields affect human sleep and sleep electroencephalogram*. *Neurosci Lett*, 1999. **275**(3): p. 207-210 (A) (S).
102. Bornhausen, M. and H. Sheingraber, *Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats*. *Bioelectromagnetics*, 2000. **21**(1): p. 1-9 (R).
103. Bortkiewicz, A., et al., *Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to electromagnetic fields*. *J Med Eng Technol*, 1997. **21**(2): p. 41-46 (C).
104. Bosisio, A.V., J. Wiart, and A. Le Cornec, *Preliminary analysis of the influence of system parameters on RF exposure with GSM mobile phones (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-137, 1999: p. 156-157 (E).
105. Bracken, T.D., L.I. Kheifets, and S.S. Sussman, *Exposure assessment for power frequency electric and magnetic fields (EMF) and its application to epidemiologic studies*. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 1993. **3**(1): p. 1-22 (E).

106. Braune, S., et al., *Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field*. Lancet, 1998. **351**(9119): p. 1857-1858 (A) (E) (S).
107. Braune, S., et al., *Radiofrequency electromagnetic field from mobile phones*. Lancet, 1998. **352**: p. 576 (S).
108. Brookhuis, K.A., G. De Vries, and D. de Waard, *The effects of mobile telephoning on driving performance*. Accid Anal Prev, 1991. **23**: p. 309 (S).
109. Brown, D., A.H. Tickner, and D.C.V. Simmonds, *Interference between concurrent tasks of driving and telephoning*. J Appl Psychol, 1969. **53**: p. 419 (S).
110. Brown, R.F. and S.V. Marshall, *Sister chromatid exchange in marrow cells of mice exposed to RFR (400, 800, and 1200 MHzCW) (meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society (BEMS) "4 th Bioelectromagnetics Society Annual Meeting - Abstracts." Los Angeles, June 28 - July 2, 1982, 1982. **Abstr. No. G31**: p. (C).
111. Brown, R.F. and S.V. Marshall, *Differentiation of murine erythroleukemic cells during exposure to microwave radiation*. Radiat Res, 1986. **108**(1): p. 12-22 (K).
112. Brusick, D.J., *An assessment of the genotoxic activity of radiofrequency radiation (Meeting abstract)*. State of the Science Colloquium, sponsored by Wireless Technology Research, L.L.C. and The International Committee for Wireless Communication Health Research, 13-15 November, Rome, Italy, 1995: p. (K).
113. Brusick, D., et al., *Genotoxicity of radiofrequency radiations*. Environ Mol Mutagen, 1998. **32**: p. 1-16 (A) (E) (S) (C).
114. Brück, K. and P. Hinckel, *Thermoafferent networks and their adaptative modifications*. Encycl Pharmacol Ther, 1990. **6**: p. 129 (S).
115. Budd, R.A. and P. Czernski, *Modulation of mammalian immunity by electromagnetic radiation*. J Microw Power, 1985. **20**(4): p. 217-231 (K).
116. Burkhardt, M., et al., *Numerical and experimental dosimetry of Petri dish exposure setups*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(6): p. 483-493 (E).
117. Burkhardt, M. and N. Kuster, *E-simulation of artifacts caused by FDTD-staircasing in RF simulation involving dielectric objects*. Electromagnetics and Guided Waves, 2000. (**in press**): p. (A).
118. Byus, C.V., et al., *Alterations in protein kinase activity following exposure of cultured human lymphocytes to modulated microwave fields*. Bioelectromagnetics, 1984. **5**(3): p. 341-351 (K).
119. Byus, C.V., S.E. Pieper, and W.R. Adey, *The effects of low-energy 60-Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase*. Carcinogenesis, 1987. **8**(10): p. 1385-1389 (C).
120. Byus, C.V., et al., *Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumor promoters*. Cancer Res, 1988. **48**(15): p. 4222-4226 (K) (A) (S) (C).
121. Byus, C. and V. Wu, *The level of substrate ornithine can alter polyamine-dependent DNA synthesis following phorbol ester stimulation of cultured hepatoma cells*. J. Cell. Physiol, 1991. **149**: p. 9-17 (C).
122. Byus, C.V. and L. Hawel, *Additional considerations about bioeffects*. Mobile Communications Safety (Q Balzano and J C Lin, Eds). London, Chapman and Hall, 1997: p. 133-144 (S) (C).
123. Cain, C.D., et al., *Pulsed electromagnetic field modifies cAMP metabolism and ornithine decarboxylase activity in primary bone cells*. International Conference on Electric and Magnetic Fields in Medicine and Biology. Conference Publication number 257 (Institute of Electrical Engineers, London and New York):, 1985: p. 9-134 (C).
124. Cain, C.D., D.L. Thomas, and W.R. Adey, *60 Hz magnetic field acts as co-promoter in focus formation of C3H/10T1/2 cells*. Carcinogenesis, 1993. **14**: p. 955-960 (C).
125. Cain, C.D., D.L. Thomas, and W.R. Adey, *Focus formation of C3H/10T1/2 cells and exposure to a 836.55 MHz Modulated Radiofrequency field*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(3): p. 237-243 (A) (E) (S) (C).
126. Cairnie, A.B. and R.K. Harding, *Cytological studies in mouse testis irradiated with 2.45-GHz continuous-wave microwaves*. Radiat Res, 1981. **87**(1): p. 100-108 (C).
127. Calle, E.E. and D.A. Savitz, *Leukemia in occupational groups with presumed exposure to electrical and magnetic fields (Letter)*. N Engl J Med, 1985. **313**(23): p. 1476-1477 (K).
128. Canellakis, E., et al., *Identification, cloning, and nucleotide sequencing of the ornithine decarboxylase antizyme gene of Escherichia coli*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1993. **90**: p. 7129-7133 (C).

129. Cantor, K.P., et al., *Re: Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States (Letter)*. J Natl Cancer Inst, 1995. **87**(3): p. 227-228 (S).
130. Cantor, K.P., et al., *Occupational exposures and female breast cancer mortality in the United States*. J Occup Environ Med, 1995. **37**(3): p. 336-348 (C).
131. Cao, G., L.-M. Liu, and S.F. Cleary, *Cell cycle alterations induced by isothermal 27 MHz radio-frequency radiation exposure*. Bioelectrochem Bioenerg, 1995. **37**: p. 131-140 (E).
132. Cardis, E. and M. Kilkeny, *International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study*. Radiat Prot Dosim; Proceedings of an International Workshop, Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology, National Radiation Protection Board, Chilton, UK, 7-9 September, 1998, McKinlay, M.H. Repacholi (Eds.), 1999. **83**((1-2)): p. 179-183 (E).
133. Carillo, R., et al., *Preliminary observations on cellular telephones and pacemakers*. Pacing Clin Electrophysiol, 1995. **18**: p. 863 (K).
134. Carlo, G.L., I. Munro, and A.W. Guy, *Potential public health risks from wireless technology. Research agenda for the development of data for science-based decisionmaking*. Scientific Advisory Group on Cellular Telephone Res (504 pp.), 1994: p. 87-95 (K).
135. Carpenter, R.L., *Ocular effects of microwave radiation*. Bull NY Acad Sci, 1979. **55**: p. 1048 (S).
136. Castillo, M. and R.M. Quencer, *Sublethal exposure to microwave radar (Letter)*. JAMA, 1988. **259**(3): p. 355 (C).
137. CENELEC, *Human exposure to electromagnetic fields: high frequency (10 kHz to 300 GHz)*. European Committee for Electrotechnical Standardization; European Prestandard, 1995. **ENV 500166-2**: p. (K).
138. Chadwick, P.J., *Occupational exposures to electromagnetic fields: the practical application of NRPB guidelines*. Chilton, NRPB-R301, 1998: p. (S).
139. Chagnaud, J.-L., B. Veyret, and B. Despres, *Effects of pulsed microwaves on chemically induced tumours in rats (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 17th Annual Meeting, 18-22 June, Boston, MA, 1995: p. 28 (C).
140. Chagnaud, J.-L., B. Despres, and B. Veyret, *Effects of pulsed microwaves on the immune system and on chemically-induced tumors in rats*. Simunic D, ed. Proceedings of COST 244 workshop on biological effects of amplitude modulated microwaves; Kuopio, Finland, 1995: p. (K).
141. Chagnaud, J.-L., J.-M. Moreau, and B. Veyret, *No effect of short-term exposure to GSM-modulated low-power microwaves on benzo(a) pyrene-induced tumours in rat*. Int J Radiat Biol, 1999. **75**(10): p. 1251-1256 (E) (S).
142. Chagnaud, J.L. and B. Veyret, *No effects of GSM-modulated microwaves on immune parameters in rats*. Int. J. Radiat. Biol, 1999. **75**: p. 111-113 (E).
143. Chapman, S. and W.N. Schofield, *Lifesavers and Samaritans: emergency use of cellular (mobile) phones in Australia*. Accid Anal Prev, 1998. **30**: p. 815 (S).
144. Chapman, S. and W.N. Schofield, *Emergency use of cellular (mobile) telephones*. Lancet, 1998. **351**: p. 650 (S).
145. Chazan, B., et al., *Effects of microwave exposure in utero on embryonal, foetal and postnatal development of mice*. Biol. Neonate, 1983. **44**: p. 339-347 (C).
146. Chen, K.M., A. Samuel, and R. Hoopingarner, *Chromosomal aberration of living cells induced by microwave radiation*. Environ Lett, 1974. **6**: p. 37-46 (S).
147. Chernovetz, M.E., D.R. Justesen, and A.F. Oke, *A teratological study of the rat: microwave and infrared radiations compared*. Radio Sci, 1977. **12S**: p. 191 (S).
148. Cherry, N., *Criticism of the health assessment in the ICNIRP guidelines for radiofrequency and microwave radiation (100 kHz-300 GHz)*. [www.emfguru.com/CellPhone/cherry2/ICNIRP-2.htm](http://www.emfguru.com/CellPhone/cherry2/ICNIRP-2.htm), 2000: p. (R).
149. Chia, S.-E., H.-P. Chia, and J.-S. Tan, *Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: a community study*. Environ. Health Perspective, 2000. **108**: p. 1059-1062 (R).
150. Chiabrera, A., et al., *Quantum analysis of ion binding kinetics in electromagnetic bioeffects*. Electromagnetics in Medicine and Biology. C. T. Brighton, S. R. Pollack, eds. San Francisco, CA: San Francisco Press, 1991: p. 27-31 (K).
151. Chizhenkova, R.A. and A.A. Safroshkina, *Electrical reactions of brain to microwave irradiation*. Electro Magnetobiol, 1996. **15**(3): p. 253-258 (A) (S).

152. Chou, C.-K., et al., *Cochlear microphonics generated by microwave pulses*. J Microw Power, 1975. **10**(4): p. 361-367 (K).
153. Chou, C.-K. and A.W. Guy, *Effects of electromagnetic fields on isolated nerve and muscle preparation*. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1978. **26**(3): p. 141-147 (K) (S).
154. Chou, C.-K. and A.W. Guy, *Microwave-induced auditory responses in guinea pigs: relationship of threshold and microwave-pulse duration*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 193-197 (K) (S) (C).
155. Chou, C.-K. and A.W. Guy, *Carbon-loaded Teflon electrodes for chronic EEG recordings in microwave research*. J Microw Power, 1979. **14**(4): p. 399-404 (K).
156. Chou, C.-K., A.W. Guy, and R. Galambos, *Auditory perception of radiofrequency electromagnetic fields*. J Acoust Soc Am, 1982. **71**(6): p. 1321-1334 (K) (S) (C).
157. Chou, C.-K., et al., *Chronic exposure of rabbits to 0.5 and 5 mW/cm<sup>2</sup> 2450 MHz CW microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**(1): p. 63-77 (K) (S) (C).
158. Chou, C.-K., K.-C. Yee, and A.W. Guy, *Auditory response in rats exposed to 2450 MHz electromagnetic fields in a circularly polarized waveguide*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(3): p. 323-326 (K) (S) (C).
159. Chou, C.-K., et al., *Effects of long-term radiofrequency radiation on immune competence and metabolism*. USAF Sch. of Aerospace Medicine. Report USAFSAM-TR-85-105, 1986: p. 120 pp. (C).
160. Chou, C.-K., et al., *Long-term, low-level microwave irradiation of rats*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(6): p. 469-496 (K) (A) (S) (C).
161. Chou, C.K., J.A. McDougall, and K.W. Chan, *Absence of radiofrequency heating from auditory implants during magnetic resonance imaging*. Bioelectromagnetics, 1995. **16**(5): p. 307-316 (K).
162. Chou, C.K., et al., *Radio Frequency Electromagnetic Exposure: Tutorial Review on Experimental Dosimetry*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(3): p. 195-208 (K) (E).
163. Chou, C.K., et al., *Quantification of cellular telephone radio frequency dosimetry*. Final Report supported by Wireless Technology Research, USA, 1998: p. (E).
164. Chou, C.K., et al., *Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(Suppl 4): p. (Suppl 4):75-92 (E).
165. Ciaravino, V., M.L. Meltz, and D.N. Erwin, *Effects of radiofrequency radiation and simultaneous exposure with mitomycin C on the frequency of sister chromatid exchanges in Chinese hamster ovary cells*. Environ. Mutagen, 1987. **9**: p. 393-399 (K) (S) (C).
166. Ciaravino, V., M.L. Meltz, and D.N. Erwin, *Absence of a synergistic effect between moderate-power radiofrequency electromagnetic radiation and adriamycin on cell-cycle progression and sister-chromatid exchange*. Bioelectromagnetics, 1991. **12**(5): p. 289-298 (K) (S) (C).
167. Cleary, S.F., L.M. Liu, and F. Garber, *Viability and phagocytosis of neutrophils exposed in vitro to 100 MHz radiofrequency radiation*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(1): p. 53-60 (K).
168. Cleary, S.F., *Cellular effects of radiofrequency electromagnetic fields*. Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy (O P Gandhi, Ed). Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1990: p. 339-356 (S) (C).
169. Cleary, S.F., *Biological effects of radiofrequency electromagnetic fields*. Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. O. P. Gandhi, ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990: p. 236-255 (S) (C).
170. Cleary, S.F., L.-M. Liu, and R.E. Merchant, *Glioma proliferation modulated in vitro by isothermal radiofrequency radiation exposure*. Radiat Res, 1990. **121**(1): p. 38-45 (K) (S) (C).
171. Cleary, S.F., L.-M. Liu, and R.E. Merchant, *In vitro lymphocyte proliferation induced by radiofrequency electromagnetic radiation under isothermal conditions*. Bioelectromagnetics, 1990. **11**(1): p. 47-56 (K) (S) (C).
172. Cleary, S.F., *Effects of radiofrequency radiation on mammalian cells and biomolecules in vitro*. Advances in Chemistry Series 250: Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms. M. Blank, ed., Washington, DC: American Chemical Society, 1995: p. 467-477 (S) (C).
173. Cleary, S.F., G. Cao, and L.-M. Liu, *Effects of isothermal 2.45 GHz microwave radiation on the mammalian cell cycle: comparison with effects of isothermal 27 MHz radiofrequency radiation exposure*. Bioelectrochem Bioenerg, 1996. **39**: p. 167-173 (K) (E) (S) (C).

174. Cleary, S.F., et al., *Effect of isothermal radiofrequency radiation on cytolytic T lymphocytes*. FASEB J, 1996. **10**(8): p. 913-919 (E).
175. Cleveland, R.F. and T.W. Athey, *Specific Absorption Rate in models of the human head exposed to hand-held UHF portable radios*. Bioelectromagnetics, 1989. **10**: p. 173-186 (C).
176. Clifford, A., et al., *Role of ornithine decarboxylase in epidermal tumorigenesis*. Cancer Res, 1995. **55**: p. 1680-1686 (C).
177. Cohen, S.M. and L.B. Ellwein, *Genetic errors, cell proliferation and carcinogenesis*. Cancer Res, 1991. **51**: p. 6493 (S).
178. Cohen, B.H., et al., *Parental factors in Down's syndrome-results of the second Baltimore case-control study*. In Population Cytogenetics. Ed. Hook, E.B., Porter, I.H. (New York: Academic Press), 1997: p. 301-352 (C).
179. Coleman, M., J. Bell, and R. Skeet, *Leukaemia incidence in electrical workers (Letter)*. Lancet, 1983. **1**(8331): p. 982-983 (K).
180. Conover, D., C. Moss, and C. Kardous, *Health hazard evaluation for the Cardinal Pacelli School, Cincinnati, Ohio*. Letter report. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio., 1997: p. (C).
181. Corelli, J.C., et al., *Effects of 2.6-4.0 Ghz microwave radiation on E-coli B*. J Microw Power, 1977. **12**(2): p. 141-144 (C).
182. COST 244bis, *Proceedings of the Workshop on exposure set-ups and their dosimetry, Zürich*. 1999: p. (E).
183. Coughlin, C.T., et al., *Interstitial hyperthermia in combination with brachytherapy*. Radiology, 1983. **148**: p. 285-288 (C).
184. Cui, W., et al., *TGFa1 inhibits the formation of benign skin tumors, but enhances progression to invasive spindle carcinomas in transgenic mice*. Cell, 1996. **86**: p. 531-542 (C).
185. Cullinan, W.E., et al., *Pattern and time course of immediate early gene expression in rat brain following acute stress*. Neuroscience, 1995. **64**: p. 477 (S).
186. Czerska, E.M., et al., *Effects of continuous and pulsed 2450 MHz radiation exposure on spontaneous transformation of human lymphocytes in vitro*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(4): p. 247-259 (K).
187. d'Ambrosio, G., et al., *Genotoxic effects of amplitude-modulated microwaves on human lymphocytes exposed in vitro under controlled conditions*. Electro Magnetobiol, 1995. **14**(3): p. 157-164 (K) (E) (C).
188. D'Andrea, J.A., O.M. Gandhi, and R.P. Kesner, *Behavioral effects of resonant electromagnetic power absorption in rats*. Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the UNSC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 1975 (C C Johnson and M L Shore, Eds). Rockville, Maryland, US Department of Health, Education and Welfare, 1976. **1**: p. 257 (S).
189. D'Andrea, J.A., O.P. Gandhi, and J.L. Lords, *Behavioral and thermal effects of microwave radiation at resonant and non-resonant wavelengths*. Radio Sci, 1977. **12**(6S): p. 251-256 (S).
190. D'Andrea, J.A., et al., *Physiological and behavioral effects of chronic exposure to 2450 MHz microwaves*. J Microw Power, 1979. **14**(4): p. 351-362 (S).
191. D'Andrea, J.A., et al., *Physiological and behavioral effects of prolonged exposure to 915 MHz microwaves*. J Microw Power, 1980. **15**(2): p. 123-135 (S).
192. D'Andrea, J.A., et al., *Behavioral and physiological effects of chronic 2450 MHz microwave irradiation of the rat at 0.5 mW/cm<sup>2</sup>*. Bioelectromagnetics, 1986. **7**(1): p. 45-56 (S).
193. D'Andrea, J.A., et al., *Intermittent exposure of rats to 2450 MHz microwaves at 2.5 mW/cm<sup>2</sup>. Behavioural and physiological effects*. Bioelectromagnetics, 1986. **7**(3): p. 315-328 (S).
194. D'Andrea, J.A., B.L. Cobb, and J.O. de Lorge, *Lack of behavioural effects in the rhesus monkey: high peak microwave pulses at 1.3 GHz*. Bioelectromagnetics, 1989. **10**(1): p. 65-76 (C).
195. D'Andrea, J.A., *Microwave radiation absorption: behavioural effects*. Health Phys, 1991. **61**(1): p. 29-40 (S) (C).
196. D'Andrea, J.A., et al., *Rhesus monkey contrast sensitivity during exposure to high peak power 5.6-GHz microwave pulses (Meeting abstract)*. First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 14-19 June, Lake Buena Vista, FL, 1992: p. 62 (S).
197. D'Andrea, J.A., A. Thomas, and D.J. Hatcher, *Rhesus monkey behaviour during exposure to high-peak-power 5.62 GHz microwave pulses*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**(2): p. 163-176 (C).

198. D'Andrea, J.A., *Behavioral evaluation of microwave irradiation*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(Suppl 4): p. (Suppl 4), 64-74 (S).
199. D'Inzeo, G., et al., *Microwave effects on acetylcholine-induced channels in cultured chick myotubes*. Bioelectromagnetics, 1988. **9**(4): p. 363-372 (S).
200. Daniells, C., et al., *Transgenic nematodes as biomonitors of microwave-induced stress*. Mutat Res, 1998. **399**(1): p. 55-64 (S).
201. Dardalhon, M., D. Averbeck, and A. Berteaud, *Action des ondes centimetriques seules ou combinees avec les rayons ultra-violets sur les cellules eucaryotiques*. Ondes electromagnetiques et biologie, Proceedings of International Symposium; 30 June B 4 July; Jouy en Josas, France, 1980: p. 17-24 (K).
202. Dardalhon, M., D. Averbeck, and A.J. Berteaud, *Studies on possible genetic effects of microwaves in prokaryotic and eucaryotic cells*. Radiat Environ Biophys, 1981. **20**(1): p. 37-51 (K) (S) (C).
203. Dardalhon, M., et al., *Thermal aspects of biological effects of microwaves in Saccharomyces cerevisiae*. Int J Radiat Biol, 1985. **48**(6): p. 987-996 (K).
204. Davanipour, Z., et al., *Amyotrophic Lateral Sclerosis and occupational exposure to electromagnetic fields*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(1): p. 28-35 (C).
205. Davis, R.L. and F.K. Mostofi, *Cluster of testicular cancer in police officers exposed to hand-held radar*. Am J Ind Med, 1993. **24**(2): p. 231-233 (S) (C).
206. de Lorge, J.O. and C.S. Ezell, *Observing responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(2): p. 183-198 (S).
207. de Lorge, J.O., *Operant behavior and colonic temperature of Macaca mulatta exposed to radio frequency fields at and above resonant frequencies*. Bioelectromagnetics, 1984. **5**(2): p. 233-246 (S) (C).
208. de Pomerai, D.I., et al., *Mobile phone effects on nematode worms: animal in vivo studies using Caenorhabditis elegans*. Presented at Mobile Phones and Health Conference, September 1999, Gothenburg, Sweden, 1999: p. 67-78 (A) (S).
209. de Pomerai, D., et al., *Non-thermal heat shock response to microwaves*. Nature, 2000. **25** may: p. (R).
210. de Seze, R., et al., *Effects of microwaves on rat neurotransmitters. Final results*. Proceedings of the Third EBBA Congress, Nancy France, 1996: p. (E).
211. de Seze, R., et al., *Effects of microwaves emitted by mobile phones on hypophyseal hormones in humans (Meeting Abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 18th Annual Meeting, 9-14 June, Victoria, British Columbia, Canada, 1996: p. 123 (K) (A).
212. de Seze, R., et al., *Effects on human of microwaves emitted by mobile phones: Chronological Rythm of ACTH (Meeting Abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 18th Annual Meeting, 9-14 June, Victoria, British Columbia, Canada, 1996: p. 56-57 (A).
213. de Seze, R., P. Fabbro-Peray, and L. Miro, *GSM radiocellular telephones do not disturb the secretion of antepituitary hormones in humans*. Bioelectromagnetics, 1998. **19**(5): p. 271-278 (A) (E).
214. de Seze, R., et al., *Etude chez l'homme de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les téléphones mobiles GSM sur les potentiels évoqués auditifs et les produits de distorsion acoustiques*. Actes du 1er Congrès National de Radioprotection, 1998: p. 47-51 (A).
215. de Seze, R. and L. Miro, *Mobile phone exposure : studies on the human endocrine system*. Proceedings of the 26th General Assembly of URSI, Toronto, Canada, 1999: p. (E).
216. de Seze, R., et al., *Evaluation in humans of the effects of radiocellular telephones on the circadian patterns of melatonin secretion, a chrono-biological rhythm maker*. J Pineal Res, 1999. **27**(4): p. 237-242 (A) (E).
217. Dec, S., E. Cieslak, and J.S. Mischczak, *Electroencephalographic Frequency Mapping in Healthy Subjects During Cellular Head Telephone Stimulation*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
218. Del Seppia, C., et al., *Exposure to oscillating magnetic fields influences sensitivity to electrical stimuli. I: Experiments on pigeons*. Bioelectromagnetics, 1995. **16**(5): p. 290-294 (C).
219. Delannoy, J., et al., *Hyperthermia system combined with a magnetic resonance imaging unit*. Med Phys, 1990. **17**: p. 855-860 (C).
220. Demers, P.A., et al., *Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men*. Am J Epidemiol, 1991. **134**(4): p. 340-347 (C).

221. DETR, *Department of the Environment, Transport and the Regions and the National Assembly for Wales Code of Best Practice. Telecommunications prior approval procedures as applied to mast/tower development*. 1998: p. (S).
222. DETR, *Government targets mobile phone drivers in new campaign*. Press notice 0041, 21 January 2000, 2000: p. (S).
223. DeWitt, J.R., et al., *Behavioural effects of chronic exposure to 0.5 mW/cm<sup>2</sup> of 2,450-MHz microwaves*. *Bioelectromagnetics*, 1987. **8**(2): p. 149-157 (C).
224. DG XIII, *Recommandation du conseil du 12 juillet 1999 relative a la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques*. Proposals for a research Programme by a European Commission Expert Group, 1999. **L199, 59 (1999/519/EC)**: p. 27 (A) (S).
225. Dhabhar, F. and B. McEwen, *Enhancement of immune function by acute stress*. Proceedings of Society of Neuroscience Annual Meeting; San Diego, 1995: p. abstract 548.6. (K).
226. Diederich, C.J., et al., *Evaluation of a multi-element microwave applicator for hyperthermia*. Proc 9th Int'l Conf Radiation Research, Toronto Canada, 1991. (**unpublished**): p. (C).
227. DiGiovanni, J., *Multistage carcinogenesis in mouse skin*. *Pharmacol. Ther.*, 1992. **54**: p. 63-128 (C).
228. DiGiovanni, J., et al., *Evaluation of the possible copromotion effect of a 60 Hz magnetic field during chemically induced carcinogenesis in skin of Sencar mice (Meeting abstract)*. Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity, 17-21 November, San Antonio, TX, 1996: p. 6-7 (C).
229. Dimbylow, P.J. and S.M. Mann, *SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz*. *Phys Med Biol*, 1994. **39**(10): p. 1537-1553 (K) (S).
230. Dolk, H., et al., *Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 1: Sutton Coldfield transmitter*. *Am J Epidemiol*, 1997. **145**(1): p. 1-9 (S) (C).
231. Dolk, H., et al., *Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 2: All high power transmitters*. *Am J Epidemiol*, 1997. **145**(1): p. 10-17 (S) (C).
232. Donnellan, M., D.R. McKenzie, and P.W. French, *Effects of exposure to electromagnetic radiation at 835 MHz on growth, morphology and secretory characteristics of a mast cell analogue, RBL-2H3*. *Cell Biol Int*, 1997. **21**(7): p. 427-439 (E) (C).
233. Dreyer, N.A., J.E. Loughlin, and K.J. Rothman, *Cause-specific mortality in cellular telephone users*. *J Am Med Assoc*, 1999. **282**(19): p. 1814-1816 (S).
234. Drogichina, E.A., et al., *On the problems of autonomic and cardiovascular disturbances under the effects of ultrahigh frequency electromagnetic fields*. *ATD Report 66-124, Library of Congress, Aerospace Technology Division*. Gig Tr Prof Zabol, 1966. **10**: p. 13 (S).
235. DTI, *Electromagnetic compatibility aspects of radio-based mobile telecommunications*. LINK Research Communications Programme. London, Department of Trade and Industry, 1999: p. (S).
236. Durney, C.H., H. Massoudi, and M.F. Iskander, *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*. USAFSAM-TR-85-73, Fourth Edition. Brooks Air Force Base, Texas: USAF School of Aerospace Medicine, 1986: p. (C).
237. Dutta, S.K. and W.H. Nelson, *Lack of genetic effects of short duration low power density 2450 MHz CW and 8.5-9.6 GHz pulsed electromagnetic radiation on selected microbial tester strains*. *Environ. Mutagen. Soc - Ann. Meet. Program Abstr.* 9 th, 1978: p. 69-70 (C).
238. Dutta, S.K., et al., *Effects of 8.6-GHz pulsed electromagnetic radiation on an Escherichia coli repair-deficient mutant*. Symposium on Electromagnetic Fields in Biological Systems, 27-30 June, 1978, Ottawa, Canada. IMPI and IEEE-Microwave Theory and Techniques Society. (Edmonton, Alberta, Canada), 1978: p. 76-95 (C).
239. Dutta, S.K., et al., *Effects of chronic non-thermal exposures of pulsed microwaves on a repair-deficient mutant of Escherichia coli (Meeting abstract)*. *Mutat Res*, 1978. **53**(1): p. 91-92 (C).
240. Dutta, S.K., et al., *Lack of microbial genetic response to 2.45-GHz CW and 8.5- to 9.6-GHz pulsed microwaves*. *J Microw Power*, 1979. **14**(3): p. 275-280 (S) (C).
241. Dutta, S.K., et al., *Microwave radiation induced calcium ion efflux from human neuroblastoma cells in culture*. *Bioelectromagnetics*, 1984. **5**(1): p. 71-78 (S) (C).
242. Dutta, S.K., B. Gosh, and C.F. Blackman, *Radiofrequency radiation-induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture*. *Bioelectromagnetics*, 1989. **10**(2): p. 197-202 (S) (C).

243. Dutta, S.K., et al., *Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(4): p. 317-322 (S) (C).
244. Eberle, P., et al., *Zellproliferation, Schwesterchromatidaustausche, Chromosomenaberrationen, Mikrokerne und Mutationsrate*. FGF, Newsletter Edition Wissenschaft, 1996. **4**: p. 5-15 (K).
245. EC and European Commission, *Possible Health Effects Related to the Use of Radiotelephones*. Proposals for a Research Programme by a European Commission Expert Group. Brussels, EC., 1996: p. (S).
246. EC and European Commission, *Council Recommendation of 12 July 1999 on the Limitation of Exposure of the General Public to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz*. Off J Eur Commun, 1999. **L199, 59 (1999/519/EC)**.: p. (S).
247. EC and European Commission, *Communication from the Commission on the Precautionary Principle*. Brussels, EC, COM(2000)1, February 2000., 2000: p. (S).
248. Edwards, G.S., et al., *Resonant microwave absorption of selected DNA molecules*. Phys Rev Lett, 1984. **53**(13): p. 1284-1287 (S).
249. Eicher, B., et al., *Effects of TDMA modulated hand-held telephones on pacemakers (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 16th Annual Meeting, 12-17 June, Copenhagen, Denmark, 1994: p. 67 (K).
250. El Kanza, K., M. Lalancette, and R. Mandeville, *Ornithine decarboxylase activity in animals exposed to different doses of ENU and EMF (Meeting abstract)*. Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity, 17-21 November, San Antonio, TX, 1996: p. 72 (C).
251. Elder, J., D. Cahill, and eds, *Biological effects of radiofrequency radiation*. US Environmental Protection Agency, 1984. **EPA-600/8-83-026**: p. (K).
252. Elder, J.A., *Radiofrequency radiation activities and issues: a 1986 perspective*. Health Phys, 1987. **53**(6): p. 607-611 (C).
253. Elekes, E., G. Thuroczy, and L.D. Szabo, *Effect on the immune system of mice exposed chronically to 50 Hz amplitude modulated 2.45 GHz microwaves*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(3): p. 246-248 (K).
254. Elwood, J.M., *A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers*. Environ Health Perspect, 1999. **107**(Suppl 1): p. 155-168 (S) (C).
255. Engstrom, S., *Dynamic properties of Lednev's parametric resonance mechanism*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(1): p. 58-70 (C).
256. EPA, *Biological Effects of Radiofrequency Radiation*. EPA-600/8-83-026F. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1984: p. (C).
257. EPA, *Summary and Results of the April 26-27, 1993, Radiofrequency Radiation Conference. 1. Analysis of Panel Discussions*. EPA 402R-95- 009. Research Triangle Park, NO U.S. Environmental Protection Agency, March 1995, 1995: p. 40 (C).
258. Eriksson, N., *The psychosocial work environment and illness among office workers*. Sweden; UmeD University, Department of Sociology: Doctoral thesis, 1996. **No 2**: p. (K).
259. Erwin, D.N. and W. Hurt, *Biological effects of ultrawideband emission*. EMP Human Health Effects Science Review Panel Proceedings, 16-18 March, Theater Nuclear Warfare Program, Crystal Plaza 5, Rm. 866, Washington, DC 20362-5101, 1993: p. 91-95 (S).
260. ETSI, *Radio transmission and reception*. European Telecommunications Standards Institute; ETSI-GSM technical specifications, 1992. **PHASE 1, Documents 0.5.05**: p. (K).
261. ETSI, *Radio transmission and reception*. European Telecommunications Standards Institut; ETSI-GSM technical specifications, 1993. **PHASE 1, Documents 0.5.05-DCS**: p. (K).
262. ETSI, *European digital cellular telecommunications system (Phase 2); GSM electromagnetic compatibility (EMC) considerations*. European Telecommunications Standards Institutes, TC-SMG, 1994. **Technical Report 108**: p. (K).
263. Eulitz, C., et al., *Mobile phones modulate response patterns of human brain activity*. NeuroReport, 1998. **9**(14): p. 3229-3232 (E) (S).
264. Farrell, J.M., et al., *Effects of low frequency electromagnetic fields on the activyt of ornithine decarboxylase in developing chicken embryos*. Bioelectrochem Bioenerg, 1997. **43**(1): p. 91-96 (C).

265. Fesenko, E.E., et al., *Microwaves and cellular immunity. I. Effect of whole body microwave irradiation on tumour necrosis factor production in mouse cells*. *Bioelectrochem Bioenerg*, 1999. **49**(1): p. 29 (S).
266. Feychting, M., et al., *Dementia and occupational exposure to magnetic fields*. *Scand J Work Environ Health*, 1998. **24**(1): p. 46-53 (C).
267. Finkelstein, M., *Cancer incidence among Ontario police officers*. *Am J Ind Med*, 1998. **34**(2): p. 157-162 (C).
268. Fitzner, R., et al., *Growth behaviour of HL-60 cells under influence of high-frequency electromagnetic fields: Investigation of potential cancer-promoting effects*. *Electromagnetic Compatibility of Biological Systems. Biological effects of High-Frequency Electromagnetic Fields of Mobile Radiotelephone Systems and Police Radio*. K. Brinkmann, G. Friedrich, eds. Berlin: VDE-VERLAG GMBH, 1997. **5**: p. 178-203 (E).
269. Forum, U., *UMTS/IMT-2000 Spectrum*. 1998(December).
270. Foster, K.R., B.R. Epstein, and M.A. Gealt, *"Resonances" in the dielectric absorption of DNA?* *Biophys J*, 1987. **52**(3): p. 421-425 (S).
271. Frei, M.R., et al., *Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation*. *Bioelectromagnetics*, 1998. **19**(1): p. 20-31 (A) (E) (S) (C).
272. Frei, M.R., et al., *Chronic, low-level (1.0 W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves*. *Radiat Res*, 1998. **150**(5): p. 568-576 (A) (S).
273. French, P.W., M. Donnellan, and D.R. McKenzie, *Electromagnetic radiation at 835 MHz changes the morphology and inhibits proliferation of a human astrocytoma cell line*. *Bioelectrochem Bioenerg*, 1997. **43**(1): p. 13-18 (E) (C).
274. Freude, G., et al., *Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials*. *Bioelectromagnetics*, 1998. **19**(6): p. 384-387 (E) (S).
275. Frey, A., *Auditory system responses to radiofrequency energy*. *Aerospace Med*, 1961. **32**: p. 1140-1142 (K).
276. Frey, A.H., S.R. Feld, and B. Frey, *Neural function and behaviour: defining the relationship*. *Ann N Y Acad Sci*, 1975. **247**: p. 433-439 (K) (S) (C).
277. Frey, A.H., *Headaches from cellular phones: are they real and what are their implications? (Commentary)*. *Environ Health Perspect*, 1998. **106**(3): p. 101-103 (C).
278. Fritze, K., et al., *Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure in Blood Brain Barrier permeability in rat*. *Acta Neuropathol (Berl)*, 1997. **94**(5): p. 465-470 (A) (E) (S) (C).
279. Fritze, K., et al., *Effect of global system for mobile communication microwave exposure on the genomic response of the rat brain*. *Neuroscience*, 1997. **81**(3): p. 627-639 (A) (E) (S).
280. Frohlich, H., *The biological effects of microwaves and related questions*. *Adv Electron Electron Phys*, 1980. **53**: p. 85-152 (S).
281. Frohlich, H., *Coherent excitation in active biological systems*. *Modern Bioelectrochemistry*. F. Gutmann, H. Keyzer, eds., New York: Plenum Press, 1986: p. 241-261 (S).
282. Fröhlich, H., *Long-range coherence and energy storage in biological systems*. *Int J Quantum Chem*, 1968. **II**: p. 641 (S).
283. Fucic, A., et al., *X-rays, microwaves and vinyl chloride monomer: their clastogenic and aneugenic activity, using the micronucleus assay on human lymphocytes*. *Mutat Res*, 1992. **282**(4): p. 265-271 (K) (C).
284. Fukumoto, G. and C.V. Byus, *A kinetic characterization of putrescine and spermidine uptake and export in human erythrocytes*. *Biochim. Biophys Acta*, 1996. **1282**: p. 48-56 (C).
285. Funch, D.P., et al., *Utility of telephone company records for epidemiologic studies of cellular telephones*. *Epidemiology*, 1996. **7**(3): p. 299-302 (K).
286. Furia, L., D.W. Hill, and O.P. Gandhi, *Effect of millimeter-wave irradiation on growth of Saccharomyces cerevisiae*. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1986. **33**(11): p. 993-999 (S).
287. Furstenberger, G., et al., *Stimulatory role of transforming growth factors in multistage skin carcinogenesis: possible explanation for the tumor-inducing effect of wounding in initiated NMRI mouse skin*. *Int. J. Cancer*, 1989. **43**: p. 915-921 (C).
288. Gabriel, C., et al., *Microwave absorption in aqueous solutions of DNA*. *Nature*, 1987. **328**(6126): p. 145-146 (S).

289. Gabriel, C., *Compilation of the dielectric proprieties of body tissues at RF and microwaves frequency*. Brooks Airforce Technical report, 1996. **AL/OE-TR-1996-0037**: p. (A).
290. Gadja, G., A. Thansandote, and D. Lecuyer, *Report on cellular tower surveys*. (Ottawa: Health Protection Branch of Health Canada). 1997: p. (C).
291. Gadja, G., D. Lecuyer, and D. Wilkinson, *Report on an electromagnetic field survey at three residences on Blessington Road, RR1, Corbyville, Ontario*. (Ottawa: Health Protection Branch of Health Canada). 1998: p. (C).
292. Gadja, G., A. Thansandote, and D. Lecuyer, *Report on a survey of radiofrequency emissions at five Vancouver area schools*. (Ottawa: Health Protection Branch of Health Canada). 1998: p. (C).
293. Gallagher, R.P., et al., *Brain cancer and exposure to electromagnetic fields*. J Occup Med, 1991. **33**(9): p. 944-945 (K).
294. Galvin, M.J., D.L. Parks, and D.I. McRee, *Influence of 2.45 GHz microwave radiation on enzyme activity*. Radiat Environ Biophys, 1981. **19**(2): p. 149-156 (K) (S).
295. Gandhi, C.R. and D.H. Ross, *Microwave induced stimulation of 32P incorporation into phosphoinositides of rat brain synaptosomes*. Radiat Environ Biophys, 1989. **28**(3): p. 223-234 (K) (S) (C).
296. Gandhi, O., *ANSI radiofrequency safety guide: its rationale, some problems, and suggested improvements*. Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. edited Gandhi OP. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990: p. 28-47 (C).
297. Gandhi, O.P., et al., *Specific absorption rates and induced current distributions in an anatomically based human model for plane-wave exposure*. Health Phys, 1992. **63**(3): p. 281-290 (E).
298. Gandhi, O.P., G. Lazzi, and C.M. Furse, *Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz*. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1996. **44**(10 pt. 2): p. 1884-1897 (A).
299. Garaj-Vrhovac, V., D. Horvat, and Z. Koren, *The effect of microwave radiation on the cell genome*. Mutat Res, 1990. **243**(2): p. 87-93 (K) (S) (C).
300. Garaj-Vrhovac, V., A. Fucic, and D. Horvat, *Comparison of chromosome aberration and micronucleus induction in human lymphocytes after occupational exposure to vinyl chloride monomer and microwave radiation*. Period Biol, 1990. **92**(4): p. 411-416 (S) (C).
301. Garaj-Vrhovac, V., D. Horvat, and Z. Koren, *The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 chinese hamster cells exposed to microwave radiation*. Mutat Res, 1991. **263**(3): p. 143-149 (K) (S) (C).
302. Garaj-Vrhovac, V., A. Fucic, and D. Horvat, *The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro*. Mutat Res, 1992. **281**(3): p. 181-186 (K) (S) (C).
303. Garaj-Vrhovac, V., et al., *Effects of 415 MHz frequency on human lymphocyte genome*. Proceedings IRPA9 Congress. Vienna, Austra, 1996. **3**: p. 604-606 (C).
304. Garaj-Vrhovac, V., *Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation*. Chemosphere, 1999. **39**(13): p. 2301-2312 (S).
305. Garland, F.C., et al., *Non-Hodgkin's lymphomas in US Navy personnel*. Arch Environ Health, 1988. **43**(6): p. 425-429 (S).
306. Garland, F.C., et al., *Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel*. Am J Epidemiol, 1990. **132**(2): p. 293-303 (K) (S) (C).
307. Garson, O.M., et al., *A chromosomal study of workers with long-term exposure to radio-frequency radiation*. Med J Aust, 1991. **155**(5): p. 289-292 (K) (S) (C).
308. Ghoda, L., et al., *Prevention of rapid intracellular degradation of ODC by a carboxyl truncation*. Science, 1989. **243**: p. 1493-1495 (C).
309. Gillois, M., C. Auge, and C. Chevalet, *Effet des Ondes Electromagnetiques Non Ionisantes sur la Viabilite et l'Heredité des Cellules de Mammiferes en Culture Etablie*. Int Symp (URSI, CNFRS) on Electromagn Waves & Biol (Ondes Electromagn & Biol ), Jouy en Josas, France, 1980: p. 9-15 (K).
310. Gilmour, S., et al., *Constitutively elevated levels of ornithine and polyamines in mouse epidermal papillomas*. Carcinogenesis, 1991. **12**: p. 1619-1625 (C).
311. Gilmour, S., et al., *Induction of ornithine decarboxylase in specific subpopulations of murine epidermal cells following multiple exposures to 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate, mezerein and ethyl phenylpropiolate*. Carcinogenesis, 1992. **13**: p. 51-56 (C).

312. Glick, A., et al., *Loss of expression of TGF- $\alpha$  in skin and skin tumours is associated with hyperproliferation and a high risk for malignant conversion*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1993. **90**: p. 6076-6080 (C).
313. Goblirsch, M. and E. Vogel, *Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern durch Diebstahlsicherungsanlagen*. StrahlenschutzPraxis, 1996. **2**(1): p. S46-50 (K).
314. Goldman, H., et al., *Cerebrovascular permeability to Rb-86 in the rat after exposure to pulsed microwaves*. Bioelectromagnetics, 1984. **5**(3): p. 323-330 (K) (C).
315. Goldsmith, J.R., *Incorporation of epidemiological findings into radiation protection standards*. Public Health Rev, 1991. **19**(1-4): p. 19-34 (C).
316. Goldsmith, J.R., *Epidemiological evidence of radiofrequency radiation (microwave) effects on health in military, broadcasting and occupational studies*. Int J Occup Environ Health, 1995. **1**(1): p. 47-57 (S).
317. Goli, V., et al., *Transesophageal echocardiographic evaluation for mural thrombus following radiofrequency catheter ablation of accessory pathways*. Pacing and Clinical Electrophysics 14 (November, Part II), 1991: p. 1992-7 (C).
318. Gonzalez, G. and C. Byus, *Effect of dietary arginine restriction upon ornithine and polyamine metabolism during two-stage epidermal carcinogenesis in the mouse*. Cancer Res, 1991. **51**: p. 2932-2939 (C).
319. Gordon, Z.V., *Problems of industrial hygiene and the biological effects of electromagnetic super-high frequency fields*. (in Russian). Medicina, 1966: p. (S).
320. Gordon, Z.V., *Occupational health aspects of radiofrequency electromagnetic radiation*. Ergonomics and physical environmental factors. Occupational Safety and Health Series No. 21, International Labour Office, Geneva, 1970: p. 159-172 (C).
321. Gos, P., et al., *Extremely high frequency electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase Saccharomyces cerevisiae cells*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(2): p. 142-155 (S).
322. Gos, P., et al., *Mobile-phone type electromagnetic fields do not influence genetic stability in yeast*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (R).
323. Goswami, P.C., et al., *Proto-oncogene mRNA levels and activities of multiple transcription factors in C3H 10T1/2 murine embryonic fibroblasts exposed to 835.62 and 847.74 cellular phone communication frequency radiation*. Radiat Res, 1999. **151**(3): p. 300-309 (A) (E) (S).
324. Gottlob, L.R. and D.J. Madden, *Age differences in the strategic allocation of visual attention*. J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci, 1999. **54**: p. 165 (S).
325. Goud, S.N., et al., *Genetic effects of microwave radiation in mice*. Mutat Res, 1982. **103**(1): p. 39-42 (S) (C).
326. Grangeat, C., *Radio frequency radiation from mobile phones*. Alcatel Telecommunications Review, 4th Quarter 1998, 1998: p. 298-304 (E).
327. Grayson, J.K., *Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study*. Am J Epidemiol, 1996. **143**(5): p. 480-486 (K) (S) (C).
328. Grin, A.N., *Effects of microwave on catecholamine metabolism in brain*. US Joint Pub Research Device Rep, 1974. **JPRS 72066**: p. (S) (C).
329. Grin, A., *Effect of microwave radiation on the metabolism of catecholamine in the brain*. (Rus). Vrach Delo, 1984. **10**: p. 129-130 (K).
330. Gruenau, S., et al., *Absence of microwave effect on blood-brain barrier permeability to  $^{14}C$ -sucrose in the conscious rat*. Exp Neurol, 1982. **75**: p. 299-307 (K).
331. Grundler, W., et al., *Mechanisms of electromagnetic interaction with cellular systems*. Naturwissenschaften, 1992. **79**(12): p. 551-559 (S).
332. Guberan, E., et al., *Gender ratio of offspring and exposure to shortwave radiation among female physiotherapists*. Scand J Work Environ Health, 1994. **20**(5): p. 345-348 (C).
333. Gunn, S.A., T.C. Gould, and W.A.D. Anderson, *The effect of microwave radiation on morphology and function of rat testis*. Lab. Invest, 1961. **10**: p. 301-314 (C).
334. Guy, A.W., et al., *Microwave Induced Acoustic Effects in Mammalian Auditory Systems and Physical Materials*. Ann NY Acad Sci, 1975. **247**: p. 194-218 (K).

335. Guy, A.W., et al., *Long-term 2450-MHz CW microwave irradiation of rabbits: methodology and evaluation of ocular and physiological effects*. J Microw Power, 1980. **15**(1): p. 37-44 (K) (S).
336. Guy, A.W., et al., *Effects of long-term low-level radiofrequency radiation exposure on rats. Vol 9: Summary (Final rept. Jun 80-Jul 84)*. NTIS Document No. AD-A159 512/3/XAB, 24 pp. Report No. SR-29; USAFSAM-TR-85-64. Contract No. F33615-80-C-0612; 7757; 01., 1985: p. (K) (S) (C).
337. Guy, A.W., *Bioeffects of long-term exposures of animals*. In : Radiofrequency radiation standards - Biological effects, dosimetry, epidemiology and public health policy (NATO ASI Series, series A : Life Sci, 1994. **274**: p. 311-326 (K).
338. Haidler, T., et al., *Clastogenic effects of radiofrequency radiations on chromosomes of Tradescantia*. Mutat Res, 1994. **324**: p. 65-68 (K) (S) (C).
339. Hall, A.S., et al., *Observation by MR imaging of in vivo temperature changes induced by radiofrequency hyperthermia*. J Comput Assis Tomogr, 1990. **3**: p. 430-436 (C).
340. Hamnerius, Y., et al., *A negative test for mutagenic action of microwave radiation in Drosophila melanogaster*. Mutat Res, 1979. **68**(3): p. 217-223 (K) (C).
341. Hamnerius, Y., A. Rasmuson, and B. Rasmuson, *Biological effects of high-frequency electromagnetic fields on Salmonella typhimurium and Drosophila melanogaster*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(4): p. 405-414 (S) (C).
342. Hamrick, P.E., *Thermal denaturation of DNA exposed to 2450 MHz CW microwave radiation*. Radiat. Res, 1973. **56**: p. 400-404 (K) (C).
343. Hamrick, P.E. and S.S. Fox, *Rat lymphocytes in cell culture exposed to 2450 MHz (CW) microwave radiation*. J Microw Power, 1977. **12**(2): p. 125-132 (K).
344. Hansen, V.W., *Guidelines for experiments to investigate the effects of RF electromagnetic fields on biological systems. RF aspects*. Edition Wissenschaft 11/E, FGF. Nov 1997, 1997: p. (E).
345. Hansen, V.W., et al., *A radial waveguide exposure system for the uniform exposure of a large number of small animals with a 383 MHz Tetra25 standard signal (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-163, 1999: p. 170-171 (E).
346. Hardell, L., et al., *Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study*. Int J Oncol, 1999. **15**(1): p. 113-116 (A) (E) (S).
347. Hardell, L., *Case control study on radiological work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors*. <http://www.medscape.com/medscape/GeneralMedicine/journal/2000/v02.n03/mgm0504.hard/mgm0504.hard.html>, 2000: p. (R).
348. Harland, J.D. and R.P. Liburdy, *Environmental magnetic fields inhibit the antiproliferative action of tamoxifen and melatonin in a human breast cancer cell line*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(8): p. 555-562 (C).
349. Hawel, L.r., R. Tjandrawinata, and C. Byus, *Selective putrescine export is regulated by insulin and ornithine in Reuber H35 hepatoma cells*. Biochim. Biophys. Acta, 1994. **1222**: p. 15-26 (C).
350. Hawel, L.r., et al., *Biosynthesis and selective export of 1,5-diaminopentane (cadaverine) in mycoplasma-free cultured mammalian cells*. J. Biol. Chem, 1994. **269**: p. 7412-7418 (C).
351. Hayes, R.B., et al., *Occupation and risk for testicular cancer: a case-control study*. Int J Epidemiol, 1990. **19**(4): p. 825-831 (S) (C).
352. Hayes, D., et al., *Effect of digital cellular phones on permanent pacemakers*. Pacing Clin Electrophysiol, 1995. **18**: p. 863 (K).
353. Heikkinen, P., et al., *Effects of radiofrequency radiation on the development of cancer in mice (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 20th Annual Meeting, 7-11 June, St. Pete Beach, FL, Abstract No. P-58B, 1998: p. 139-140 (S) (C).
354. Hermann, D.M. and K.A. Hossmann, *Neurologic effects of microwave exposure related to mobile communication*. J Neurol Sci, 1997. **152**: p. 1-14 (E) (S) (C).
355. Hertz, L. and A. Schousbee, *Ion and energy metabolism of the brain at the cellular level*. Int. Rev. Neurobiol, 1975. **18**: p. 141 (C).
356. Hibshoosh, H., M. Johnson, and I.B. Weinstein, *Effects of overexpression of ornithine decarboxylase (ODC) on control of oncogene-induced cell transformation*. Oncogene, 1991. **6**: p. 739-743 (S) (C).
357. Hietanen, M., et al., *Influence of RF Fields Emitted by Cellular Phones on the Human EEG*. XXV th GI Ass URSI, 28 Aug - 5 Sep, Lille, France, 1996: p. 567K3-6 (K).

358. Hietanen, M. and A.-M. Hämäläinen, *Exposure to cellular phones and EEG activity*. EMC 98 Roma, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1998. **1**: p. 181-183 (E).
359. Hietanen, M., T. Kovala, and A.-M. Hämäläinen, *Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones*. Scand. J. Work. Environ. Health, 1999. (**Accepted**): p. (E).
360. Higashikubo, R., et al., *Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on the In vivo proliferation of the 9L brain tumor*. Radiat Res, 1999. **152**(6): p. 665-671 (A) (S).
361. Hill, A.B., *The environment and disease: association or causation?* Proc. R. Soc. Med, 1965. **58**: p. 295-300 (C).
362. Hill, D., *Human studies*. Biological Effects of Radiofrequency Radiation., 1984. **U.S. EPA-600/8-83-026F**: p. 112-21 (C).
363. Hill, D., *A Longitudinal Study of a Cohort with Past Exposure to Radar : the MIT Radiation Laboratory Follow up Study (Dissertation)*. Univ Michigan Dissert Serv (Ann Arbor), 1988: p. (K).
364. Hocking, B., et al., *Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers*. Med J Aust, 1996. **165**(11-12): p. 601-605 (S) (C).
365. Hocking, B., *Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use*. Occup Med (Oxf), 1998. **48**(6): p. 357-360 (A) (E) (S).
366. Hocking, B., *Symptoms associated with mobile phone use: addendum [letter]*. Occup Med (Oxf), 1998. **48**: p. 472 (E).
367. Holly, E.A., et al., *Intraocular melanoma linked to occupations and chemical exposures*. Epidemiology, 1996. **7**(1): p. 55-61 (S) (C).
368. Holm, I., et al., *Feedback control of ornithine decarboxylase expression by polyamines. Analysis of ornithine decarboxylase mRNA distribution in polysome profiles and of translation of this mRNA in vitro*. Biochem. J, 1989. **258**: p. 343-350 (C).
369. Holt, J. and A. Nelson, *Four years of microwaves in cancer therapy*. J Belge Radiol, 1979. **62**(5): p. 467-476 (K).
370. Hook, G.J., *Evaluation of potential genotoxicity of RFR in vivo using the single cell gel electrophoresis assay*. University of Washington. 2nd WTR State of the Science Colloquium. Long Beach, USA., 1999: p. (E).
371. Hook, G.J., et al., *Genotoxicity of radio frequency fields generated by analog, TDMA, CDMA, and PCS cellular technologies evaluated using the single cell gel electrophoresis (scge) and the cytochalasin B micronucleus (CB-MN) assay*. Proceedings 21th Annual Meeting of BEMS, Long Beach, USA, 1999: p. (E).
372. Hook, G.J., et al., *Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells*. Bioelectromagnetics, 2001: p. sous presse (R).
373. Hossmann, K.A., *Health aspects of mobile communication (Meeting Abstract)*. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June, Bologna, Italy, 1997: p. 5-6 (A).
374. Hoth, M. and R. Penner, *Depletion of intracellular calcium stores activates a calcium current in mast cells*. Nature, 1992. **355**: p. 353-355 (K).
375. Huang, A.T., et al., *The effect of microwave radiation (2450 MHz) on the morphology and chromosomes of lymphocytes*. Radio Sci, 1977. **12**(6S): p. 173-177 (K) (S) (C).
376. Huang, A.T.-F. and N.G. Mold, *Immunologic and hemopoietic alterations by 2450 MHz electromagnetic radiation*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(1): p. 77-87 (K).
377. Huber, R., et al., *Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG*. NeuroReport, 2000. **11**: p. 3321-3325 (R).
378. Hunt, E.L., N.W. King, and R.D. Phillips, *Behavioral effects of pulsed microwave radiation*. Ann NY Acad Sci, 1975. **247**: p. 440 (S).
379. Hurta, R., A. Greenberg, and J. Wright, *Transforming growth factor b1 selectively regulates ornithine decarboxylase gene expression in malignang H-ras transformed fibrosarcoma cell lines*. J. Cell Physiol, 1993. **156**: p. 272-279 (C).
380. HWC and (Health and Welfare Canada), *Guidelines on exposure to electromagnetic fields from magnetic resonance clinical systems*. Safety Code 26, 1987: p. (C).
381. Hyland, G.J., *Non-thermal bioeffects induced by low-intensity microwave irradiation of living systems*. Eng Sci Educ J, 1998. **7**(6): p. 261-269 (S).

382. Hyland, G.J., *Physics and biology of mobile telephony*. The Lancet, 2000. **356**: p. 1833-1836 (R).
383. IARC and International Agency for Research on Cancer, *Cancer Incidence in Five Continents*. IARC Scientific Publications No. 143, Lyon
- Parkin DM, Whelan SL, Ferlay J, Raymond L, Young J, eds, 1997. **VII**: p. (C).
384. Ichiba, T., et al., *Functional regions of ornithine decarboxylase antizyme*. Biochem. Biophys. Res. Comm, 1994. **200**: p. 1721-1727 (C).
385. ICNIRP, *Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters*. Health Phys, 1996. **70**: p. 587-593 (K) (E) (S).
386. ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. Health Phys, 1998. **74**(4): p. 494-522 (A) (S).
387. ICNIRP, *Response to questions and comments on ICNIRP guidelines*. Health Phys, 1998. **75**(4): p. 438 (S).
388. IEEE, *IEEE standards for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields 3kHz-300GHz*. C95.1-1991, 1991: p. (K) (A) (C).
389. IEEE-USA and E.P. Statement, *Human exposure to RF emissions from cellular radio base station antennas*. IEEE United States Activities. (Washington, DC: COMAR), 1992: p. (C).
390. IEEE/ANSI, *Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York, IEEE, 1991. **C95.1-1991**: p. (S).
391. Imaida, K., et al., *Lack of promoting effects of the electromagnetic near-field used for cellular phones (929.2 MHz) on rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay*. Carcinogenesis, 1998. **19**(2): p. 311-314 (A) (E) (S) (C).
392. Imaida, K., et al., *The 1.5 GHz electromagnetic near-field used for cellular phones does not promote rat liver carcinogenesis in a medium-term liver bioassay*. Jpn J Cancer Res, 1998. **89**(10): p. 995-1002 (A) (E) (S) (C).
393. Inaba, R., et al., *Effects of whole body microwave exposure on the rat brain contents of biogenic amines*. Eur J Appl Physiol, 1992. **65**(2): p. 124-128 (K) (S) (C).
394. INIRC, *Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz*. Health Phys, 1988. **54**(1): p. 115 (S).
395. INIRC, *Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields*. Health Phys, 1990. **58**(10): p. 113 (S).
396. Inskip, P.D., et al., *Study design for a case-control investigation of cellular telephones and other risk factors for brain tumours in adults*. Radiat Prot Dosim, 1999. **86**: p. 45 (S).
397. Inskip, P., et al., *Cellular telephone use and brain tumors*. New England J Med, 2001. **344**: p. 79-86 (R).
398. Irnich, W., et al., *Ein Beitrag zur Sicherheit von Implantation Schriftenreihe der Bundesanstalt fhr Arbeitsschutz*. Fb 569, Dortmund, 1989: p. (K).
399. IRPA-INIRC, *1988 Guidelines on limits of exposure to radiofrequency fields in the frequency range from 100kHz to 300GHz*. Health Phys, 1988. **54**: p. 115-123 (K) (C).
400. Isa, A. and M. Noor, *Nonionizing radiation exposure causing ill health and alopecia areata*. Med J Malaysia, 1991. **46**(3): p. 235-238 (C).
401. ITU, *Final Acts of the World Administrative Radio Conference (WARC-95)*. Geneva, 1995: p. (E).
402. Ivaschuk, O.I., et al., *Exposure of nerve growth factor-treated PC12 rat pheochromocytoma cells to a modulated radiofrequency field at 836.55 MHz. Effects on c-jun and c-fos expression*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(3): p. 223-229 (A) (E) (S) (C).
403. Janes, E.D., et al., *Effects of 2450 MHz microwaves on protein synthesis and on chromosomes in Chinese hamsters*. Non-Ionizing Radiat, 1969. **1**: p. 125-130 (C).
404. Janne, J., L. Alhonen, and P. Leinonen, *Polyamines: from molecular biology to clinical applications*. Annals of Medicine, 1991. **23**(3): p. 241-259 (C).
405. Jauchem, J.R. and M.R. Frei, *Heart rate and blood pressure changes during radiofrequency irradiation and environmental heating*. Comp Biochem Physiol, 1992. **101A**(1): p. 1-9 (S).
406. Jauchem, J.R. and M.R. Frei, *High-peak-power microwave pulses: effects on heart rate and blood pressure in unanaesthetised rats*. Aviat Space Environ Med, 1995. **66**(10): p. 992-997 (S).
407. Jauchem, J.R., *Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects on humans*. Int Arch Occup Environ Health, 1997. **70**(1): p. 9-21 (S).

408. Jauchem, J.R., *Health effects of microwave exposures: a review of the recent (1995-1998) literature*. J Microw Power Electromagn Energy, 1998. **33**(4): p. 263-274 (S).
409. Jensch, R.P., W.H. Vogel, and R.L. Brent, *Postnatal functional analysis of prenatal exposure of rats to 915 MHz microwave radiation*. J Am Coll Toxicol, 1982. **1**(3): p. 73-90 (C).
410. Jensch, R.P., I. Weinberg, and R.L. Brent, *Teratologic studies of prenatal exposure of rats to 915-MHz microwave radiation*. Radiat Res, 1982. **92**: p. 160-171 (C).
411. Jensch, R.P., I. Weinberg, and R.L. Brent, *An evaluation of the teratogenic potential of protracted exposure of pregnant rats to 2450-MHz microwave radiation. I. Morphologic analysis at term*. J Toxicol Environ Health, 1983. **11**(1): p. 23-35 (S) (C).
412. Jensch, R.P., W.H. Vogel, and R.L. Brent, *An evaluation of the teratogenic potential of protracted exposure of pregnant rats to 2450-MHz microwave radiation. II. Postnatal physiologic analysis*. J Toxicol Environ Health, 1983. **11**(1): p. 37-59 (S) (C).
413. Jensch, R.P., *Studies of the teratogenic potential of exposure of rats to 6000-MHz microwave radiation. I. Morphologic analysis at term*. Radiat Res, 1984. **97**(2): p. 272-281 (S) (C).
414. Jensch, R.P., *Studies of the teratogenic potential of exposure of rats to 6000-MHz microwave radiation. II. Postnatal psychophysiological evaluations*. Radiat Res, 1984. **97**(2): p. 282-301 (S) (C).
415. Jensch, R.P., *Behavioral teratologic studies using microwave radiation: is there an increased risk from exposure to cellular phones and microwave ovens?* Reprod Toxicol, 1997. **11**(4): p. 601-611 (A) (E) (S).
416. Johansen, C. and J.H. Olsen, *Cellular telephones, magnetic field exposure, risk of brain tumours and cancer at other sites: a cohort study*. Radiat Prot Dosim; Proceedings of an International Workshop, Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology, National Radiation Protection Board, Chilton, UK, 7-9 September, 1998, 1999. **83**(1-2): p. 155-157 (S).
417. Johansson, O., *Electrical hypersensitivity and hypersensitivity to mobile phones. Results from a double blind provocation study of the character of a method study. (Swed)*. Stockholm; Karolinska Institute, Unit for Experimental Dermatology, 1995. **Report no 2**: p. (K).
418. Johnson, R.B., et al., *Open field behavior and corticosterone*. Effects of Long-term Low-level Radiofrequency Radiation Exposure on Rats. Brooks Air Force Base, Texas, USAF School of Aerospace Medicine, 1983. **Volume 4**: p. USAFSAM TR 83-42 (S).
419. Jokela, K., et al., *Radiation safety of handheld mobile phones and base stations*. Stockholm, 1999. **STUK - A161**: p. (E) (S).
420. Jorritsma, J.B. and A.W. Konings, *The occurrence of DNA strand breaks after hyperthermic treatments of mammalian cells with and without radiation*. Radiat Res, 1984. **98**: p. 198 (S).
421. Joyner, K.H., V. Anderson, and M.P. Wood, *Interference and energy deposition rates from digital mobile phones (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 16th Annual Meeting, 12-17 June, Copenhagen, Denmark, 1994: p. 67-68 (K).
422. Justesen, D., et al., *Research on health effects of nonionizing radiation*. United States House of Representatives: Hearing Committee on Science and Technology, July 12, 1978, 1979. **No. 52- 3620**: p. 356-366 (C).
423. Juutilainen, J., et al., *Do pulse-modulated or continuous 900 MHz RF fields enhance the carcinogenic effect of ionising radiation in mice?* Proceedings 1 st International Medical Scientific Congress "Non-Ionizing High-frequency EM Radiations: Researching the Epidemiology and Clinical Evidence", Rome, November 1999, (*in press*): p. (S).
424. Juutilainen, J., et al., *Epidermal ODC and polyamine levels after UV and magnetic field exposures*. Proceedings of the 17th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, 1995: p. Abstract A-7-1 (C).
425. Juutilainen, J., et al., *A study on the effects of pulsed or continuous 900 MHz radiation on the development of cancer in mice (Meeting abstract)*. European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 3rd International Congress, 29 February-3 March, Nancy, France, 1996: p. (C).
426. Juutilainen, J. and S. Lang, *Genotoxic, Carcinogenic and Teratogenic effects of electromagnetic fields : Introduction and overview*. Mutat Res, 1997. **387**(3): p. 165-171 (A).
427. Juutilainen, J. and R. de Seze, *Biological effects of amplitude-modulated radiofrequency radiation*. Scand J Work Environ Health, 1998. **24**(4): p. 245-254 (E).

428. Kaiser, F., *Theory of resonant effect of RF and MW energy*. Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. Radiofrequency and Microwave Energies. M. Grandolfo, S. M. Michaelson, A. Rindi, eds., New York: Plenum Press, 1983: p. 251-282 (S).
429. Kallen, B., G. Malmquist, and U. Moritz, *Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: is non-ionizing radiation a fetal hazard?* Arch Environ Health, 1982. **37**(2): p. 81-85 (S) (C).
430. Kamimura, Y., et al., *Effect of 2.45 GHz microwave irradiation on monkey eyes (Letter)*. IEICE Trans Commun, 1994. **77B**(6): p. 762-765 (S) (C).
431. Kandel, E.R., J.H. Schwartz, and T.M. Jessel, *Principles of Neural Science*. New York, McGraw-Hill. Professional Publishing, 2000. (**4 th edition**): p. (S).
432. Kaplan, I.T., et al., *Absence of heart rate effects in rabbits during low-level microwave irradiation*. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1971. **19**: p. 168 (S).
433. Kavaliers, M., et al., *Opioid systems and the biological effects of magnetic fields*. On the Nature of Electromagnetic Field Interactions with Biological Systems. A. H. Frey, ed., Austin, TX: R. G. Landes Co., 1994: p. 181-194 (C).
434. Kerbacher, J.J., M.L. Meltz, and D.N. Erwin, *Influence of radiofrequency radiation on chromosome aberrations in CHO cells and its interaction with DNA damaging agents*. Radiat Res, 1990. **123**(3): p. 311-319 (K) (S) (C).
435. Khalil, A.M., W.F. Qassem, and M.M. Suleiman, *A preliminary study on the radiofrequency field-induced cytogenetic effects in cultured human lymphocytes*. Dirasat, 1993. **20**: p. 121-130 (S) (C).
436. Khillare, B. and J. Behari, *Effect of amplitude-modulated radiofrequency radiation on reproduction pattern in rats*. Electro Magnetobiol, 1998. **17**(1): p. 43-55 (S).
437. Kim, Y., H. Pan, and V. AK., *Non-AP-1 tumour promoter 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate-responsive sequences in the human ornithine decarboxylase gene*. Mol. Carcinogen, 1994. **19**: p. 169-179 (C).
438. Kim, Y.S., et al., *Characteristics of EEG and AEP in human volunteers exposed to RF (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 20th Annual Meeting, 7-11 June, St. Pete Beach, FL, Abstract No. P-19A, 1998: p. 105-106 (E).
439. Kiselev, R.I. and N.P. Zalyubovskaya, *Study of inhibiting effect of superhigh frequency millimetre wave on adenoviruses*. US Joint Pub Research Service Rep, 1976. **JPRS L/5615**: p. 71 (S).
440. Kitchin, K., J. Brown, and A. Kulkarni, *Complementarity of genotoxic and nongenotoxic predictors of rodent carcinogenicity*. Teratogenesis Carcinog. Mutagen, 1994. **13**: p. 83-100 (C).
441. Kittel, A., et al., *Qualitative enzyme histochemistry and microanalysis reveals changes in ultrastructural distribution of calcium and calcium activated ATPases after microwave irradiation of the medial habenula*. Acta Neuropathol (Berl), 1996. **92**(4): p. 362-368 (S) (C).
442. Klauenberg, B.J., et al., *Radiofrequency radiation standards. Biological effects, dosimetry, epidemiology, and public health policy*. Radiofrequency Radiation Standards. Biological Effects, Dosimetry, Epidemiology, and Public Health Policy. Nato ASI Series A: vol. 274, 1995: p. (K).
443. Koenig, H., et al., *Polyamines and Ca<sup>2+</sup> mediate hyperosmolar opening of the blood-brain barrier: In vitro studies in isolated rat cerebral capillaries*. J Neurochem, 1989. **13**: p. 1135-1142 (C).
444. Kohli, M., et al., *Calculated microwave absorption of double-helical B-conformation poly(dG).poly(dC)*. Biopolymers, 1981. **20**(4): p. 853-864 (S).
445. Koivisto, M., et al., *The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory*. NeuroReport, (in press): p. (A) (S).
446. Koivisto, M., et al., *Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular phones on response times in humans*. NeuroReport, 2000. **11**: p. 413-415 (A) (S).
447. Kolodynski, A.A. and V.V. Kolodynska, *Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radiation Location Station in Latvia*. Sci Total Environ, 1996. **180**(1): p. 87-93 (C).
448. Kowalczyk, C.I., R.D. Saunders, and H.R. Stapleton, *Sperm count and sperm abnormality in mice after exposure to 2450 MHz microwave radiation*. Mutation Res, 1983. **122**: p. 155-161 (C).
449. Koza, R., et al., *Constitutively elevated levels of ornithine and polyamines in mouse epidermal papillomas*. Carcinogenesis, 1991. **12**: p. 1619-1625 (C).
450. Krause, D., et al., *Enhancement of ornithine decarboxylase activity in L929 cells by amplitude modulated microwaves (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 12th Annual Meeting, 10-14 June, San Antonio, TX, 1990: p. 94 (K) (C).

451. Krause, D., et al., *Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**: p. 132-141 (K) (E).
452. Krause, C.M., et al., *Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task*. NeuroReport, 2000. **11**: p. 761-764 (A) (S).
453. Krewski, D., et al., *A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunications devices*. The Royal society of Canada. Ottawa, Canada., 1999. **RSC.RPR 99-1**: p. (E).
454. Kristensen, T.S., *Cardiovascular disease and the work environment. A critical review of the epidemiologic literature on nonchemical factors*. Scand J Work Environ Health, 1989. **15**: p. 165-179 (S).
455. Kubota, S., et al., *Ornithine decarboxylase overexpression in mouse 10T1/2 fibroblasts. Cellular transformation and invasion*. J Natl Cancer Inst, 1997. **89**: p. 567 (S) (C).
456. Kues, H.A., et al., *Effects of 2.45-GHz microwaves on primate corneal endothelium*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(2): p. 177-188 (S) (C).
457. Kues, H.A. and S.A. D'Anna, *Changes in the monkey eye following pulsed 2.45 GHz microwave exposure*. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Ninth Annual Conference, 13-16 November, 1987, Boston, MA., 1987. **Vol. 2**: p. 698-700 (S) (C).
458. Kues, H.A., et al., *Histological evaluation of microwave-induced vascular leakage in the iris (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 10th Annual Meeting, 19-24 June, Stamford, CT, 1988: p. 49 (S).
459. Kues, H.A., et al., *Microwave-induced electroretinographic changes in the primate (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 13th Annual Meeting, 23-27 June, Salt Lake City, UT, 1991: p. 53 (S).
460. Kues, H.A. and J.C. Monahan, *Microwave-induced changes in the primate eye*. Johns Hopkins APL Tech Dig, 1992. **I3**: p. 244 (S).
461. Kues, H.A. and J.C. Monahan, *Pulsed microwave-induced ocular changes in the restrained non-human primate (Meeting abstract)*. First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 14-19 June, Lake Buena Vista, FL, 1992: p. 62 (S).
462. Kues, H.A., et al., *Increased sensitivity of the non-human primate eye to microwave radiation following ophthalmic drug pretreatment*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(5): p. 379-393 (K) (S) (C).
463. Kues, H.A., et al., *Absence of ocular effects after either single or repeated exposure to 10 mW/cm<sup>2</sup> from a 60 GHz CW source*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(8): p. 463-473 (S).
464. Kumar, A. and A. Butler, *Transcription factor Sp3 antagonizes activation of the ornithine decarboxylase promoter by Sp1*. Nucleic Acids Res, 1997. **25**: p. 2012-2019 (C).
465. Kumlin, T., et al., *Nocturnal Secretion of 6-Hydroxy-Melatonin Sulphate in Mice Exposed to 900 MHz Radiofrequency Radiation or 50 Hz Magnetic Fields*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
466. Kunz, L.L., et al., *Effects of long-term low-level radiofrequency radiation exposure on rats. Vol 8 - Evaluation of longevity, cause of death, and histopathological findings*. NTIS Document No. AD-A154 283/6/XAB, 69 pp. (Final rept. 1 Jun 80-31 Jul 84). Report No. SR-28; USAFSAM-TR-85-11. Contract No. 15-80-C-0612; 7757; 01. F336., 1985. **Vol 8**: p. (K) (C).
467. Kuster, N. and Q. Balzano, *Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz*. IEEE Trans.Veh.Technol, 1992. **41**: p. 17-23 (C).
468. Kuster, N., R. Kastle, and T. Schmid, *Dosimetric evaluation of handheld mobile communications equipment with known precision*. IEICE Trans, 1997. **E80-A**(5): p. 1-7 (C).
469. Kuster, N., *Dosimetric needs for laboratory and epidemiological research*. Non-Thermal Effects of RF Electromagnetic Fields. Proceedings: International Seminar on Biological Effects of Non-Thermal Pulsed and Amplitude Modulated RF Electromagnetic Fields and Related Health Risks, Munich, Germany, 20-21 November 1996, J.H. Bernhardt, R. Matthes, M.H. Repacholi, eds., 1997. **ICNIRP 3/97**: p. 27-34 (E).
470. Kwee, S. and P. Raskmark, *Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 2. Microwave radiation*. 2. Microwave Radiation. Bioelectrochem Bioenerg, 1998. **44**(2): p. 251-255 (A) (E) (S) (C).

471. Lagorio, S., et al., *Mortality of plastic-ware workers exposed to radiofrequencies*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(6): p. 418-421 (S) (C).
472. Lagroye, I., et al., *Measurement of DNA damage after acute exposure to 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. 1-1, 1999: p. 9-10 (E).
473. Lai, H., et al., *Low-level microwave irradiation affects central cholinergic activity in the rat*. J Neurochem, 1987. **48**: p. 40-45 (K) (A) (S) (C).
474. Lai, H., et al., *Effects of low-level microwave irradiation on hippocampal and frontal cortical choline uptake are classically conditionable*. Pharmacol Biochem Behav, 1987. **27**(4): p. 635-639 (K) (C).
475. Lai, H., et al., *A review of microwave irradiation and actions of psychoactive drugs*. IEEE Eng Med Biol, 1987. **6**(1): p. 31-36 (C).
476. Lai, H., A. Horita, and A.W. Guy, *Acute low-level microwave exposure and central cholinergic activity: studies on irradiation parameters*. Bioelectromagnetics, 1988. **9**(4): p. 355-362 (A) (C).
477. Lai, H., et al., *Low-level microwave irradiation and central nervous cholinergic systems*. Pharmacol Biochem Behav, 1989. **33**: p. 131-138 (K) (A) (S) (C).
478. Lai, H., et al., *Low-level microwave irradiation and central cholinergic activity: a dose response study*. Bioelectromagnetics, 1989. **10**: p. 203-208 (S) (C).
479. Lai, H., et al., *Corticotropin-releasing factor antagonist blocks microwave induced decreases in high-affinity choline uptake in the rat brain*. Brain Res Bull, 1990. **25**: p. 609-612 (K) (A) (S) (C).
480. Lai, H., et al., *Naltrexone pretreatment blocks microwave-induced changes in central cholinergic receptors*. Bioelectromagnetics, 1991. **12**: p. 27-33 (K) (A) (S) (C).
481. Lai, H., *Research on the neurological effects of non-ionizing radiation at the University of Washington*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(6): p. 513-526 (S) (C).
482. Lai, H., et al., *Opioid receptor subtypes that mediate a microwave-induced decrease in central cholinergic activity in the rat*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(3): p. 237-246 (A) (C).
483. Lai, H., et al., *Single vs. repeated microwave exposure: effects on benzodiazepine receptors in the brain of a rat*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(1): p. 57-66 (C).
484. Lai, H., et al., *Effects of a 60 Hz magnetic field on central cholinergic systems of the rat*. Bioelectromagnetics, 1993. **14**(1): p. 5-15 (K) (C).
485. Lai, H., A. Horita, and A.W. Guy, *Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**: p. 95-104 (A) (E) (S) (C).
486. Lai, H., *Neurological effects of microwave radiation*. Advances in electromagnetic fields in living systems. New York: Plenum Press, Lin JC, ed, 1994. **1**: p. 27-80 (K).
487. Lai, H. and N.P. Singh, *Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells*. Bioelectromagnetics, 1995. **16**(3): p. 207-210 (K) (A) (E) (S) (C).
488. Lai, H. and N.P. Singh, *Single and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation*. Int J Radiat Biol, 1996. **69**(4): p. 513-521 (K) (A) (E) (S) (C).
489. Lai, H., *Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60Hz magnetic field*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(6): p. 494-496 (C).
490. Lai, H., et al., *Intraseptal microinjection of -funaltrexamine blocked a microwave-induced decrease of hippocampal cholinergic activity in the rat*. Pharmacol. Biochem. Behav, 1996. **53**: p. 613-616 (A).
491. Lai, H. and N.P. Singh, *Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**: p. 446-454 (E) (S).
492. Lai, H., M. Carino, and N. Singh, *Naltrexone blocks RFR-induced DNA double strand breaks in rat brain cells*. in press, 1997: p. (C).
493. Lai, H. and M. Carino, *Intracerebroventricular injection of mu- and delta-opioid receptor antagonists block 60Hz magnetic field-induced decreases in cholinergic activity in the frontal cortex and hippocampus of the rat*. Bioelectromagnetics, 1998. **19**(7): p. 432-437 (C).
494. Lambie, D., et al., *Cognitive load and detection in thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving*. Accid Anal Prev, 1999. **31**: p. 617 (S).
495. Lancranjan, I., et al., *Gonadic function in workmen with long-term exposure to microwaves*. Health Phys, 1975. **29**: p. 381-383 (C).

496. Larsen, A.I., J. Olsen, and O. Svane, *Gender-specific reproductive outcome and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among physiotherapists*. Scand J Work Environ Health, 1991. **17**(5): p. 324-329 (C).
497. Lary, J.M., et al., *Teratogenic effects of 27.12 MHz radiofrequency radiation in rats*. Teratology, 1982. **26**: p. 299-309 (S) (C).
498. Lary, J.M., et al., *Teratogenicity of 27.12 MHz radiation in rats is related to duration of hyperthermia exposure*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**: p. 249-253 (S) (C).
499. Lary, J.M., D.L. Conover, and P.H. Johnson, *Absence of embryotoxic effects from low-level (non-thermal) exposure of rats to 100 MHz radiofrequency radiation*. Scand J Work Environ Health, 1983. **9**(2): p. 120-127 (C).
500. Lary, J.M., et al., *Dose-response relationship between body temperature and birth defects in radiofrequency-irradiated rats*. Bioelectromagnetics, 1986. **7**(2): p. 141-149 (C).
501. Lary, J.M. and D.L. Conover, *Teratogenic effects of radiofrequency radiation*. IEEE Eng Med Biol Mag, 1987. **42**: p. (S).
502. Last, J.M.e., *A dictionary of epidemiology*. Edited for the International Epidemiological Association. (Oxford University Press). 1983: p. (C).
503. Laurence, J.A., et al., *Biological Effects of Electromagnetic Fields-Mechanisms for the Effects of Pulsed Microwave Radiation on Protein Conformation*. J Theor Biol, 2000. **206**(2): p. 291-298 (R).
504. Laval, L., P. Leveque, and B. Jecko, *A new system for 900-MHz microwave irradiation during in vitro studies (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-48, 1999: p. 197 (E).
505. Lazzi, G. and O.P. Gandhi, *Realistically tilted and truncated anatomically based models of the human head for dosimetry of mobile telephones*. IEEE Trans Electromagn Compat, 1997. **39**(1): p. 55-61 (E).
506. Lazzi, G. and O.P. Gandhi, *A mixed FDTD-integral equation approach for on-site safety assessment in complex electromagnetic environments*. IEEE Trans on Antennas and Propagation, To appear: p. (A).
507. Lebovitz, R.M. and L. Johnson, *Testicular function of rats following exposure to microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**(2): p. 107-114 (C).
508. Lebovitz, R.M. and L. Johnson, *Acute, whole body microwave exposure and testicular function of rats*. Bioelectromagnetics, 1987. **8**(1): p. 37-43 (C).
509. Leonard, A., A.J. Berteaud, and A. Bruyere, *An evaluation of the mutagenic, carcinogenic and teratogenic potential of microwaves*. Mutat Res, 1983. **123**(1): p. 31-46 (K) (C).
510. Lerchl, A., et al., *Investigations on the effects of 900 MHz electromagnetic fields on growth, melatonin, and testicular cell composition in Djungarian hamsters (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 20th Annual Meeting, 7-11 June, St. Pete Beach, FL, Abstract No. A-2-2, 1998: p. 11-12 (E).
511. Li, J.R., et al., *TP53 Tumor Suppressor Protein in Normal Human Fibroblasts does not Respond to 837 MHz Microwave Exposure*. Radiat Res, 1999. **151**(6): p. 710-716 (E).
512. Liburdy, R.P. and P.F. Vanek, *Microwaves and the cell membrane. III. Protein shedding is oxygen and temperature dependent: evidence for cation bridge involvement*. Radiat Res, 1987. **109**(3): p. 382-395 (S).
513. Liburdy, R.P., *Biological interactions of cellular systems with time-varying magnetic fields*. Ann N Y Acad Sci Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy (Proceedings of a conference held 15-17 May 1991, Bethesda, MD). R. L. Magin, R. P. Liburdy, B. Persson, eds., New York Acad. of Sciences, 1992. **649**: p. 74-95 (C).
514. Liburdy, R.P., et al., *Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade: effects on calcium influx and c-MYC mRNA induction*. FEBS Lett, 1993. **334**(3): p. 301-308 (C).
515. Liddle, C.G., et al., *Alteration of circulating antibody response of mice exposed to 9 GHz pulsed microwaves*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(4): p. 397-404 (K).
516. Liddle, C.G., et al., *Circulating antibody response of mice exposed to 9 GHz pulsed microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1986. **7**(1): p. 91-94 (K).
517. Liddle, C.G., J.P. Putnam, and O.P. Huey, *Alteration in life span of mice chronically exposed to 2450 MHz CW microwaves*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**: p. 177-181 (S) (C).

518. Lilienfield, A., et al., *Evaluation of health status of foreign service and other employees from selected Eastern European posts*. Final Report to US Department of State. Baltimore: Johns Hopkins School of Public Health, Department of Epidemiology, 1978: p. (K) (C).
519. Lilienfield, A.M., et al., *Foreign Service Health Status Study: Evaluation of health status of foreign service and other employees from selected Eastern European posts*. NTIS Document No. PB-28B 163/9GA; 436 pp. Dept. of State, Washington DC, Final Report, Contract No. 6025- 619073, 1978: p. (C).
520. Lin, J.C. and M.F. Lin, *Studies on microwave and blood-brain barrier interaction*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(3): p. 313-323 (K).
521. Lin, J.C. and M.F. Lin, *Microwave hyperthermia-induced blood-brain barrier alterations*. Radiat Res, 1982. **89**(1): p. 77-87 (K) (C).
522. Lin, R.S., et al., *Occupational exposure to electromagnetic fields and occurrence of brain tumors. An analysis of possible associations*. J Occup Med, 1985. **27**(6): p. 413-419 (C).
523. Lin-Liu, S. and W.R. Adey, *Low frequency amplitude modulated microwave fields change calcium efflux rates from synaptosomes*. Bioelectromagnetics, 1982. **3**(3): p. 309-322 (S).
524. Linde, T. and K. Mild, *Measurement of low frequency magnetic fields from digital cellular telephones*. Palm Springs; Contractors Review Meeting, 1995: p. (K).
525. Linz, K.W., et al., *Membrane potential and currents of isolated heart muscle cells exposed to pulsed radio frequency fields*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(8): p. 497-511 (S).
526. Litovitz, T.A., D. Krause, and J.M. Mullins, *Effect of coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity*. Biochem Biophys Res Commun, 1991. **178**(3): p. 862-865 (C).
527. Litovitz, T.A., et al., *The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity*. Bioelectromagnetics, 1993. **14**(5): p. 395-403 (A) (E) (S) (C).
528. Litovitz, T.A., et al., *Temporally incoherent magnetic fields mitigate the response of biological systems to temporally coherent magnetic fields*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**(5): p. 399-409 (C).
529. Litovitz, T.A., et al., *ELF magnetic noise fields inhibit the effect of cellular phone radiation on the activity of ornithine decarboxylase (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 18th Annual Meeting, 9-14 June, Victoria, British Columbia, Canada, 1996: p. 53-54 (K).
530. Litovitz, T.A., et al., *The role of temporal sensing in bioelectromagnetic effects*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(5): p. 388-395 (S).
531. Litovitz, T.A., et al., *Bioeffects induced by exposure to microwaves are mitigated by superposition of ELF noise*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(6): p. 422-430 (E) (S).
532. Liu, D.-S., R.D. Astumian, and T.Y. Tsong, *Activation of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> pumping modes of (Na, K)-ATPase by an oscillating electric field*. J Biol Chem, 1990. **265**(13): p. 7260-7267 (S).
533. Lloyd, D.C., et al., *No clastogenic effect from in vitro microwave irradiation of G0 lymphocytes*. Int J Radiat Biol, 1984. **46**(2): p. 135-141 (K) (S) (C).
534. Lloyd, D.C., et al., *Absence of chromosomal damage in human lymphocytes exposed to microwave radiation with hyperthermia*. Bioelectromagnetics, 1986. **7**(2): p. 235-237 (K) (S) (C).
535. Lotz, W.G., *Hyperthermia in radiofrequency-exposed rhesus monkeys: a comparison of frequency and orientation effects*. Radiat Res, 1985. **102**(1): p. 59-70 (C).
536. Lotz, W., R. Rinsky, and R. Edwards, *Occupational exposure of police officers to microwave radiation from traffic radar devices*. National Technical Information Services Publication Number PB95-261350, Cincinnati, Ohio, 1995: p. (C).
537. Lu, S.-H., et al., *Effects of high peak power microwaves on the retina of the rhesus monkey*. Bioelectromagnetics, 2000. **21**: p. 1 (S).
538. Lucas, E.H., D. Johnson, and B.P. McElroy, *The effects of electronic article surveillance systems on permanent pacemakers: an in vitro study*. PACE Pacing Clin Electrophysiol, 1994. **17**(11 Pt 2): p. 2021-2026 (K).
539. Lyle, D.B., et al., *Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated fields*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**(3): p. 281-292 (K).
540. Maes, A., M. Collier, and L. Verschaeve, *Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves in human lymphocytes*. Bioelectromagnetics, (in press): p. (S).
541. Maes, A., et al., *In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes*. Bioelectromagnetics, 1993. **14**(6): p. 495-501 (K) (S) (C).

542. Maes, A., et al., *Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz)*. *Electro Magnetobiol*, 1995. **14**(2): p. 91-98 (K) (A) (S) (C).
543. Maes, A., et al., *954 MHz microwaves enhance the mutagenic properties of mitomycin C*. *Environ Mol Mutagen*, 1996. **28**(1): p. 26-30 (K) (A) (E) (S) (C).
544. Maes, A., et al., *Cytogenetic effects of 935.2 MHz (GSM) microwaves alone and in combination with mitomycin C*. *Mutat Res*, 1997. **393**(1-2): p. 151-156 (A) (E) (S) (C).
545. Magras, I.N. and T.D. Xenos, *RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice*. *Bioelectromagnetics*, 1997. **18**(6): p. 455-461 (A) (S).
546. Malyapa, R.S., et al., *Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation*. *Radiat Res*, 1997. **148**(6): p. 608-617 (A) (E) (S) (C).
547. Malyapa, R.S., et al., *Measurement of DNA damage after exposure to electromagnetic radiation in the cellular phone communication frequency band (835.62 and 847.74 MHz)*. *Radiat Res*, 1997. **148**(6): p. 618-627 (A) (E) (S) (C).
548. Malyapa, R.S., et al., *Measurement of DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia*. *Radiat Res*, 1998. **149**(6): p. 637-645 (E) (C).
549. Malyapa, R.S., et al., *DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia*. *Radiat Res*, 1998. **149**(6): p. 637-645 (A) (S).
550. Mandeville, R., et al., *Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields in Fischer F344 rats*. *FASEB J*, 1997. **11**(13): p. 1127-1136 (C).
551. Manikowska, E., et al., *Effects of 9.4 GHz microwave exposure on meiosis*. *Experientia*, 1979. **35**(3): p. 388-390 (K) (C).
552. Manikowska-Czerska, E., P. Czerski, and W.M. Leach, *Effects of 2.45 GHz microwaves on meiotic chromosomes of male CBA/CAY mice*. *J Hered*, 1985. **76**(1): p. 71-73 (K) (S) (C).
553. Mann, S.M., et al., *Exposure to radio waves near mobile telephone base stations*. Chilton, NRPB, (in press): p. (S).
554. Mann, K. and J. Roschke, *Effect of pulsed High-Frequency electromagnetic fields on human sleep*. *Neuropsychobiology*, 1996. **33**(1): p. 41-47 (K) (A) (E) (S) (C).
555. Mann, K., et al., *Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system*. *Neuroendocrinology*, 1998. **67**(2): p. 139-144 (A) (E) (C).
556. Manni, A., et al., *Involvement of the polyamine pathway in breast cancer progression*. *Cancer Letts*, 1995. **92**: p. 49-57 (C).
557. Manni, A., et al., *Polyamine profiles and growth properties of ornithine decarboxylase overexpressing MCF-7 breast cancer cells in culture*. *Breast Cancer Res. Treatment*, 1995. **34**: p. 45-53 (C).
558. Manni, A., et al., *Phenotypic features of breast cancer cells overexpressing ornithine decarboxylase*. *J. Cell. Physiol*, 1995. **163**: p. 129-136 (C).
559. Manni, A., et al., *Ornithine decarboxylase over-expression stimulates mitogen activated protein kinase and anchorage-independent growth of human breast cells*. *Int. J. Cancer*, 1997. **70**: p. 175-182 (C).
560. Manni, A., et al., *Cooperativity between the polyamine pathway and HER-2neu in transformation of human mammary epithelial cells in culture: role of the MAPK pathway*. *Int. J. Cancer*, 1998. **76**: p. 563-570 (C).
561. Marcickiewicz, J., et al., *Microwave radiation enhances teratogenic effect of cytosine arabinoside in mice*. *Biol Neonate*, 1986. **50**: p. 75-83 (S) (C).
562. Marec, F., J. Ondracek, and V. Brunnhofer, *The effect of repeated microwave irradiation on the frequency of sex-linked recessive lethal mutations in Drosophila melanogaster*. *Mutat Res*, 1985. **157**(2/3): p. 163-167 (C).
563. Marha, K., J. Musil, and H. Tuha, *Electromagnetic fields and life environment*. *Electromagnetic Fields and the Life Environment*. San Francisco, CA: San Francisco, v + 138 pp., 1971: p. v + 138 pp. (K).
564. Marshall, S.V. and R.F. Brown, *Experimental determination of whole body average specific absorption rates (SAR) of mice exposed to 200 - 400 MHz CW*. *Bioelectromagnetics*, 1983. **4**(3): p. 267-279 (C).
565. Martens, L., *Modeling and experimental characterization of exposure systems*. *Wireless Phones and Health: Scientific Progress* (E.G. Carlos, ed.), 1998. *In press*: p. (C).

566. Marton, L.J. and A.E. Pegg, *Polyamines as targets for therapeutic intervention*. Ann Rev Pharm Toxicol, 1995. **35**: p. 55-91 (S) (C).
567. Maskarinec, G. and J. Cooper, *Investigation of a childhood leukemia cluster near low-frequency radio towers in Hawaii (Meeting abstract)*. Am J Epidemiol (26th Annual Meeting of the Society for Epidemiologic Res., 16-18 June, Keystone, CO), 1993. **138**(8): p. 666 (C).
568. Maskarinec, G., J. Cooper, and L. Swygert, *Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations*. J Environ Pathol Toxicol Oncol, 1994. **13**(1): p. 33-37 (S) (C).
569. Matthes, R. and ed , *Non-ionizing radiation*. Proceedings of 3rd Non-Ionizing Radiation Workshop, 22-26 April; Baden, Austria. Oberschleissheim, Germany; ICNIRP, 1996: p. (K).
570. Mattson, M.O., K.H. Mild, and U. Rehnholm, *Ornithine decarboxylase activity following exposure to 50 Hz magnetic fields*. Proceedings of the First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 1992: p. 44 (C).
571. Mattsson, M.O., U. Rehnholm, and K.H. Mild, *Gene expression in tumour cell lines after exposure to a 50 Hz sinusoidal magnetic field*. Electricity and Magnetism in Biology and Medicine. M. Blank, ed., San Francisco Press, Inc., 1993: p. 500-502 (C).
572. McCann, P. and A. Pegg, *Ornithine decarboxylase as an enzyme target for therapy*. Pharmacol. Ther, 1992. **54**: p. 195-215 (C).
573. McDowall, M.E., *Leukaemia mortality in electrical workers in England and Wales (Letter)*. Lancet, 1983. **1**(8318): p. 246 (K).
574. McKelvey-Martin, V.J., et al., *The single cell gel electrophoresis assay (comet assay): a European review*. Mutat Res, 1993. **288**: p. 47 (S).
575. McKenzie, D.R., Y. Yin, and S. Morrell, *Childhood incidence of acute lymphoblastic leukemia and exposure to broadcast radiation in Sydney - a second look*. Aust N Z J Public Health, 1998. **22**(3 Suppl): p. 360-367 (S) (C).
576. McKinlay, A.F., et al., *Possible health effects related to the use of radiotelephones. Proposals for a research programme by a European Commission Expert Group.(project EMF )*. Report to the European Commission, 1996: p. (A) (E).
577. McKinlay, A. and ed, *Non-ionizing radiation: sources, exposure and health effects*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996: p. (K).
578. McKnight, A.J. and A.S. McKnight, *The effect of cellular phones use upon driver attention*. Accid Anal Prev, 1993. **25**: p. 259 (S).
579. McLaughlin, J., *Tissue destruction and death from microwave radiation (radar)*. Calif Med, 1957. **5**: p. 336-339 (C).
580. McLees, B.D., E.D. Finch, and M.L. Albright, *An examination of regenerating hepatic tissue subjected to radio-frequency irradiation*. J. Appl. Physiol, 1972. **32**: p. 78-85 (C).
581. McLees, B. and E. Finch, *Analysis of reported physiological effects of microwave radiation*. Advance Biol Med Phys, 1973. **14**: p. 163-23 (C).
582. McRee, D., *Environmental aspects of microwave radiation*. Environ Health Perspect, 1972. **2**: p. 41-53 (C).
583. McRee, D.I., et al., *Effects of nonionizing radiation on the central nervous system, behavior and blood: a progress report*. Environ Health Perspect, 1979. **30**: p. 123-131 (S).
584. McRee, D.I., *Soviet and Eastern European research on biological effects of microwave radiation*. Proc IEEE, 1980. **68**: p. 84 (S).
585. McRee, D.I. and H. Wachtel, *The effects of microwave radiation on the vitality of isolated frog sciatic nerves*. Radiat Res, 1980. **82**(3): p. 536-546 (K) (S).
586. McRee, D.I., et al., *Long term 2450 MHz CW microwave irradiation of rabbits: evaluation of hematological and immunological effects*. J Microw Power, 1980. **15**(1): p. 45-52 (K).
587. McRee, D.I. and G. MacNichols, *Incidence of sister chromatid exchange in bone marrow cells of the mouse following microwave exposure*. Radiat Res, 1981. **85**(2): p. 340-348 (K) (S) (C).
588. McRee, D.I. and H. Wachtel, *Pulse microwave effects on nerve vitality*. Radiat Res, 1982. **91**(1): p. 212-218 (K).
589. McRee, D.I., M.J. Galvin, and C.L. Mitchell, *Microwave effects on the cardiovascular system: a model for studying the responsivity of the autonomic nervous system to microwaves*. Prog Clin Biol

- Res 257 ; Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function, M. E. O'Connor and R. H. Lovely, eds., New York: Alan R. Liss, Inc., 1988: p. 153-177 (S).
590. MDA and (Medical Devices Agency), *Electromagnetic Compatibility of Medical Devices with Mobile Communications*. London, MDA DB 9702, 1997: p. (S).
591. Meckelburg, H., K. Jahre, and K. Matkey, *St rftigkeit von Herzschrittmachern im Frequenzbereich 30 kHz bis 2.5 GHz*. FGF. Newsletter Edition Wissenschaft, 1996. **No 5**: p. (K).
592. Megosh, L., et al., *Increased frequency of spontaneous skin tumours in transgenic mice overexpressing ornithine decarboxylase*. *Cancer Res*, 1995. **55**: p. 4205-4209 (C).
593. Megosh, L., et al., *Analysis of ras gene mutational spectra in epidermal papillomas from K6/ODC transgenic mice*. *Mol. Carcinogenesis*, 1998. **22**: p. 145-149 (C).
594. Meltz, M., K.A. Walker, and D.N. Erwin, *Radiofrequency (microwave) radiation exposure of mammalian cells during UV-induced DNA repair synthesis*. *Radiat Res*, 1987. **110**(2): p. 255-266 (K) (S) (C).
595. Meltz, M.L., P. Eagan, and D.N. Erwin, *Absence of mutagenic interaction between microwaves and mitomycin C in mammalian cells*. *Environ Mol Mutagen*, 1989. **13**(4): p. 294-303 (K) (S) (C).
596. Meltz, M.L., P. Eagan, and D.N. Erwin, *Proflavin and microwave radiation: absence of a mutagenic interaction*. *Bioelectromagnetics*, 1990. **11**(2): p. 149-157 (K) (S) (C).
597. Meltz, M.L., et al., *Interaction of ionizing radiation, genetically active chemicals, and radiofrequency radiation in human and rodent cells*. USAF/SAM, Human Systems Div., Brooks Air Force Base, TX 78235-5301, Final Report, October 1987-September 1989, USAFSAM-TR-90-18, 1990: p. 72 pp. (C).
598. Merritt, J.H., et al., *Orientation effect on microwave-induced hyperthermia and neurochemical correlates*. *J Microw Power*, 1977. **12**(2): p. 167-172 (K) (S).
599. Merritt, J.H., A.F. Chamness, and S.J. Allen, *Studies on blood-brain barrier permeability after microwave radiation*. *Radiat Environ Biophys*, 1978. **15**(4): p. 367-377 (K) (C).
600. Merritt, J.H., W.W. Shelton, and A.F. Chamness, *Attempts to alter 45Ca<sup>2+</sup> binding to brain tissue with pulse-modulated microwave energy*. *Bioelectromagnetics*, 1982. **3**(4): p. 475-478 (K) (S) (C).
601. Merritt, J.H., J.L. Kiel, and W.D. Hurt, *Considerations for human exposure standards for fast rise time high peak power electromagnetic fields*. *Aviat Space Environ Med*, 1995. **66**(6): p. 586-589 (K).
602. Mevissen, M., M. Kietzmann, and W. Loscher, *In vivo exposure of rats to a weak alternating decarboxylase activity in the mammary gland by a similar extent as the carcinogen DMBA*. *Cancer Lett*, 1995. **90**(2): p. 207-214 (C).
603. Meyer, R., et al., *Die Wirkung von hochfrequenten elektromagnetsichen Feldern auf menschliche kultivierte T-Lymphozyten (Jurkat)*. FGF Edition Wissenschaft, 1996. **10**: p. 2-22 (E).
604. Mezykowski, T., et al., *Response of Aspergillus nidulans and Physarium polycephalum in microwave irradiation*. *J Microw Power*, 1980. **15**(2): p. 75-80 (C).
605. Michaelson, S.M., *Microwave and radiofrequency radiation*. Regional Office for Europe, World Health Organization, Copenhagen, Denmark, Document No. ICP/CEP 803, 1977: p. 101 pp. (K).
606. Michaelson, S.M. and J.C. Lin, *Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation*. Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation. New York: Plenum Press, xii + 675 pp., 1987: p. i + 675 pp. (C).
607. Michaelson, S.M. and E.C. Elson, *Interaction of non-modulated and pulse modulated radiofrequency fields with living matter: experimental results*. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Second Edition. C. Polk, E. Postow, eds., Boca Raton: CRC Press, 1996: p. 435-533 (C).
608. Mickley, G.A., et al., *Disruption of a putative working memory task and selective expression of brain c-fos following microwave-induced hyperthermia*. *Phys Behav*, 1994. **55**(6): p. 1029-1038 (S).
609. Mild, K.H., M. Sandstrom, and S. Lovtrup, *Cell physiological effects of radiofrequency electromagnetic fields*. *Physiol Chem Phys*, 1982. **14**(1): p. 31-39 (C).
610. Mild, K.H., et al., *Comparison of symptoms experience by users of analogue and digital mobile phones. A swedish-norwegian epidemiological study (Swed)*. Arbetslivsrapport (Investigation report n 23), 1998. **1998**(23): p. 74 (A) (E) (S) (C).
611. Mild, K.H., et al., *Use of mobile phones and subjective disorders. A Swedish-Norwegian epidemiological study. Background and development of the questionnaire (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 20th Annual Meeting, 7-11 June, St. Pete Beach, FL, Abstract No. P-13A, 1998: p. 98-99 (A).

612. Milham, S., Jr., *Mortality in workers exposed to electromagnetic fields*. Environ Health Perspect, 1985. **62**: p. 297-300 (K) (S) (C).
613. Milham, S., Jr., *Increased mortality in amateur radio operators due to lymphatic and hematopoietic malignancies*. Am J Epidemiol, 1988. **127**(1): p. 50-54 (K) (S) (C).
614. Milham, S.J., *Mortality by license class in amateur radio operators*. Am J Epidemiol, 1988. **128**: p. 1175-6 (K).
615. Millar, D.B., et al., *The effect of exposure of acetylcholinesterase to 2450 MHz microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1984. **5**(2): p. 165-172 (K) (S) (C).
616. Miller, D.B., C.F. Blackman, and J.P. O'Callaghan, *An increase in glial fibrillary acidic protein follows brain hyperthermia in rats*. Brain Res, 1987. **415**(2): p. 371-374 (C).
617. Min, S. and D. Redelmeier, *Car Phones and Car Crashes: An Ecological Analysis*. Canadian Journal of Public Health, 1998. **89**(3): p. 157-161 (C).
618. Mitchell, D.S., W.G. Switzer, and E.L. Bronaugh, *Hyperactivity and disruption of operant behavior in rats after multiple exposures to microwave exposure*. Radio Sci, 1977. **12**(6S): p. 263-271 (S).
619. Mitchell, C.L., *Soviet research on microwave-behaviour interactions*. Behavioral Effects of Microwave Radiation Absorption (Final Report). NTIS Document No. PB86-113735/XABJ. Report No. HHS/PUB/FDA-85-8238; FDA/CDRH-85/72. C. Monahan, J. A. D'Andrea, eds., 1985: p. 1-8 (C).
620. Mitchell, C.L., et al., *Some behavioral effects of short-term exposure of rats to 2.45 GHz microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1988. **9**(3): p. 259-268 (S).
621. Mitchell, C.L., et al., *Results of a United States and Soviet Union joint project on nervous system effects of microwave radiation*. Environ Health Perspect, 1989. **81**: p. 201-209 (K) (S).
622. Mittler, S., *Non-thermal radio waves and genetic damage in Drosophila melanogaster*. Mutat. Res, 1975. **31**: p. 316 (C).
623. Mittler, S., *Failure of 2- and 10-meter radiowaves to induce genetic damage in Drosophila melanogaster*. Environ Res, 1976. **11**(3): p. 326-330 (K) (C).
624. Mittler, S., *Failure of chronic exposure to non-thermal FM radiowaves to mutate Drosophila*. J Hered, 1977. **68**(4): p. 257-258 (K) (C).
625. Miura, K., K. Morimoto, and A. Koizumi, *Effects of temperature on chemically induced sister-chromatid exchange in human lymphocytes*. Mutat Res, 1986. **174**: p. 15 (S).
626. Modak, A.T., W.B. Stavinoha, and A.P. Deam, *Effect of short electromagnetic pulses on brain acetylcholine content and spontaneous motor activity in mice*. Bioelectromagnetics, 1981. **2**(1): p. 89-92 (S) (C).
627. Moe, K.E., et al., *Physiological and behavioral effects of chronic low level microwave radiation in rats*. Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the UNSC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 1975 (C C Johnson and M L Shore, Eds).Rockville, Maryland, US Department of Health, Education and Welfare, 1976. **1**: p. 248 (S).
628. Moggia, E., A. Chiabrera, and B. Bianco, *Fokker-Plank analysis of the Langevin-Lorentz equation : application to ligand receptor binding under electromagnetic exposure*. J. Appl. Phys., 1997. **82**: p. 4669-4677 (E).
629. Montaigne, K. and W.F. Pickard, *Offset of the vacuolar potential of Characean cells in response to electromagnetic radiation over the range 250 Hz - 250 kHz*. Bioelectromagnetics, 1984. **5**(1): p. 31-38 (S).
630. Morgan, R.W., et al., *Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems*. Epidemiology. **11**(118): p. (S).
631. Morgan, R., et al., *Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems*. Epidemiology, 2000. **11**: p. 118-127 (R).
632. Mori, M., et al., *Expression of ornithine decarboxylase mRNA in gastric carcinomas*. Cancer, 1996. **77**: p. 1634-1638 (C).
633. Moriyama, E., M. Salcman, and R.D. Broadwell, *Blood-brain barrier alteration after microwave-induced hyperthermia is purely a thermal effect: I. Temperature and power measurements*. Surg Neurol, 1991. **35**(3): p. 177-182 (K) (C).
634. Moros, E.G., W.L. Straube, and W.F. Pickard, *The radial transmission line as abroad-band shielded exposure system for microwave irradiation of large number of culture flasks*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(2): p. 65-80 (E).

635. Morrissey, J.J., et al., *Iridium Exposure increases c-fos expression in the mouse brain only at levels which likely result in tissue heating*. Neuroscience, 1999. **92**(4): p. 1539-1546 (E) (S).
636. Moshier, J.A., et al., *Transformation of NIH/3T3 cells by ornithine decarboxylase overexpression*. Cancer Res, 1993. **53**: p. 2618-2622 (S) (C).
637. Moshier, J.A., et al., *Ornithine decarboxylase transformation of NIH/3T3 cells is mediated by altered epidermal growth factor receptor activity*. Cancer Res, 1994. **55**: p. 5358-5365 (S) (C).
638. Moulder, J.E., et al., *Cell phones and cancer: What is the evidence of a connection?* Radiat Res, 1999. **151**(5): p. 513-531 (E) (S).
639. Muhm, J.M., *Mortality investigation of workers in an electromagnetic pulse test program*. J Occup Med, 1992. **34**(3): p. 287-292 (S) (C).
640. Murakami, Y., et al., *Antizyme, a protein induced by polyamines, accelerates the degradation of ornithine decarboxylase in Chinese-hamster ovary-cell extracts*. Biochem. J, 1992. **283**: p. 661-666 (C).
641. Muscat, J., et al., *Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer*. JAMA, 2000. **284**(23): p. 3001-3007 (R).
642. Nagawa, H., G. Tsurita, and S. Ueno, *Effects of 1.439 MHz microwave exposure on the brain in Sprague-Dawley rats*. Health Effects of Mobile Telephones, Proceedings 26th URSI General Assembly, Toronto, August 1999, 1999: p. (E) (S).
643. Nakamura, H., et al., *Effects of exposure to microwaves on cellular immunity and placental steroids in pregnant rats*. Occup Environ Med, 1997. **54**(9): p. 676-680 (E).
644. Nawrot, P.S., D.I. McRee, and R.E. Staples, *Effects of 2450 MHz microwave radiation on embryofetal development in mice*. Teratology, 1981. **24**(3): p. 303-314 (C).
645. NCRP, *Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields*. National Council on Radiation Protection and Measurement, Bethesda, Maryland, 1986. **Report No. 86**: p. (K) (C).
646. Nelson, B.K., et al., *Marked increase in the teratogenicity of the combined administration of the industrial solvent 2-methoxyethanol and radiofrequency radiation in rats*. Teratology, 1991. **43**(6): p. 621-634 (K) (S) (C).
647. Neubauer, C., et al., *Microwave irradiation of rats at 2.45 GHz activates pinocytic-like uptake of tracer by capillary endothelial cells of cerebral cortex*. Bioelectromagnetics, 1990. **11**(4): p. 261-268 (K) (S) (C).
648. NIEHS, *Assessment of the Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields*. Working Group Report . Ed. C.J. Porter and M.S. Wolfe US National Institutes of Health, Research Triangle Park, NC, 1998. **NIH Publication No. 98-3981**: p. 311-317 (S) (C).
649. Nightingale, S.L., *Possible electromagnetic interference problems with wheelchairs and other medical devices*. JAMA, 1994. **272**(5): p. 344 (K).
650. Novoselova, E.G., et al., *Microwaves and cellular immunity. II. Immunostimulating effects of microwaves and naturally occurring antioxidant nutrients*. Bioelectrochem Bioenerg, 1999. **49**(1): p. 37 (S).
651. NRC and (National Research Council), *Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields*. Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields, Washington DC, National Academy Press., 1997: p. (S) (C).
652. NRPB, *Electromagnetic fields and the risk of cancer. Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation*. Doc NRPB, 1992. **3**(1): p. 1(S).
653. NRPB, *Restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation: scientific basis and recommendations for the implementation of the Board's Statement*. Doc NRPB, 1993. **4**(5): p. 7 (S).
654. NRPB, *Board Statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation*. Ann NRPB, 1993. **4**(5): p. (K) (S).
655. NRPB, *Electromagnetic fields and the risk of cancer. Summary of the views of the Advisory Group on Non-ionising Radiation on epidemiological studies published since its 1992 report*. Doc NRPB, 1993. **4**(5): p. 65 (S).
656. NRPB and Anonymous, *Statement by the National Radiological Protection Board: Restrictions on Human Exposure to Static and Time Varying Electromagnetic Fields and Radiation*. Documents of the NRPB, 1993. **4**(5): p. 1-5.

657. NRPB, *Electromagnetic fields and the risk of cancer. Supplementary report by the Advisory Group on Non-ionising Radiation*. Doc NRPB, 1994. **5**(2): p. 77 (S).
658. NRPB, *Statement by NRPB: advice on the 1998 ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. Doc NRPB, 1999. **10**(2): p. 1(S).
659. NRPB, *1998 ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz): advice on aspects of implementation in the UK*. Doc NRPB, 1999. **10**(2): p. 5 (S).
660. O'Brien, T., *The induction of ornithine decarboxylase as an early, possibly obligatory event in mouse skin carcinogenesis*. Cancer Res, 1976. **36**: p. 2644-2653 (C).
661. O'Brien, T., R. Simsiman, and R. Boutwell, *Induction of the polyamine biosynthetic enzymes in mouse epidermis with neoplastic transformation*. Cancer Res, 1994. **54**: p. 2313-2316 (C).
662. O'Brien, T., et al., *Ornithine decarboxylase overexpression is a sufficient condition for promotion in mouse skin*. Cancer Res, 1997. **57**: p. 2630-2637 (C).
663. O'Connor, M.E., *Mammalian teratogenesis and radio-frequency fields*. Proc IEEE, 1980. **68**(1): p. 56-60 (S).
664. O'Connor, M.E., *Prenatal microwave exposure and behaviour*. Prog Clin Biol Res 257; Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function, M. E. O'Connor and R. H. Lovely, eds., New York: Alan R. Liss, Inc., 1988: p. 265-288 (S).
665. O'Connor, M.E., *Intrauterine effects in animals exposed to radiofrequency and microwave fields*. Teratology, 1999. **59**(4): p. 287-291 (A) (S).
666. Oftedal, G., et al., *Symptoms experienced in connection with use of mobile phones. A Swedish-Norwegian epidemiological study (Meeting Abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 20th Annual Meeting, 7-11 June, St. Pete Beach, FL, Abstract No. B-1-1, 1998: p. 51 (A) (E).
667. Oftedal, G., et al., *Symptoms experienced in connection with the use of digital and analogue mobile phones for people using both transmitter systems. A Swedish-Norwegian epidemiological study (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. 12-6, 1999: p. 70 (E).
668. Okoniewski, M. and M.A. Stuchly, *A study of the handset antenna and human body interaction*. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1996. **44**(10): p. 1855-1864 (A).
669. Olsen, R.G., *Development of dosimetry monitors for MRI staff and patients*. Ann N Y Acad Sci; Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy (Proceedings of a conference held 15-17 May 1991, Bethesda, MD). R. L. Magin, R. P. Liburdy, B. Persson, eds., New York Acad. of Sciences, 1992. **649**: p. 237-241 (C).
670. Ortner, M.J., M.J. Galvin, and D.I. McRee, *Studies on acute in vivo exposure of rats to 2450 MHz microwave radiation. I: Mast cells and basophils*. Radiat Res, 1981. **86**(3): p. 580-588 (K).
671. Oscar, K.J. and T.D. Hawkins, *Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats*. Brain Res, 1977. **126**(2): p. 281-293 (K) (S) (C).
672. Oscar, K.J., et al., *Local cerebral blood flow after microwave exposure*. Brain Res, 1981. **204**(1): p. 220-225 (C).
673. Ouellet-Hellstrom, R. and W.F. Stewart, *Miscarriages among female physical therapists who report using radio-and microwave-frequency electromagnetic radiation*. Am J Epidemiol, 1993. **138**(10): p. 775-786 (S) (C).
674. Owen, R.D., *Possible health risks of radiofrequency exposure from mobile telephones*. Epidemiology, 2000. **11**: p. 99 (S).
675. Paasinin-Sohns, A. and E. Höltta, *Cells transformed by ODC, c-Ha-ras and v-src exhibit MAP kinase/Erk-independent constitutive phosphorylation of Sos, Raf activation domain, and reduced PDGF receptor expression*. Oncogene, 1997. **15**: p. 1953-1966 (C).
676. Pakhomova, O.N., A.G. Pakhomov, and Y. Akyel, *Effect of millimeter waves on UV-induced recombination and mutagenesis in yeast*. Bioelectrochem Bioenerg, 1997. **43**(2): p. 227-232 (S).
677. Pascale, R., et al., *Alterations of ornithine decarboxylase gene during the progression of liver carcinogenesis*. Carcinogenesis, 1993. **14**: p. 1077-1080 (C).
678. Pasche, B., M. Erman, and M. Mitler, *Diagnosis and Management of Insomnia : To the Editor*. New Engl J Med, 1990. **323**: p. 486-487 (K).

679. Pasche, B., et al., *Effects of low energy emission therapy in chronic psychophysiological insomnia*. Sleep, 1996. **19**(4): p. 327-336 (C).
680. Pastorian, K. and C.V. Byus, *Tolerance to putrescine toxicity in Chinese hamster ovary cells is associated with elevated export*. Experimental Cell Res, 1997. **231**: p. 284-295 (C).
681. Pay, T.L., E.C. Beyer, and C.F. Reichelderfer, *Microwave effects on reproductive capacity and genetic transmission in Drosophila melanogaster*. J Microw Power, 1972. **14**: p. 275-280 (C).
682. Pearce, N.E., et al., *Leukaemia in electrical workers in New Zealand (Letter)*. Lancet, 1985. **1**(8432): p. 811-812 (K).
683. Pearce, N., J. Reif, and J. Fraser, *Case-control studies of cancer in New Zealand electrical workers*. Int J Epidemiol, 1989. **18**(1): p. 55-59 (K) (S).
684. Pedersen, G.F. and J.B. Andersen, *RF and ELF exposure from cellular phone handsets: TDMA and CDMA systems*. Radiat Prot Dosim; Proceedings of an International Workshop, Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology, National Radiation Protection Board, Chilton, UK, 7-9 September, 1998, 1999. **83**(1): p. 131-138 (E) (S).
685. Pegg, A. and P. McCann, *Polyamine metabolism and function*. American J Physiol, 1982. **243**(5): p. C212-21 (C).
686. Pegg, A., *Polyamine metabolism and its importance in neoplastic growth and as a target for chemotherapy*. Cancer Res, 1988. **48**: p. 759-774 (C).
687. Pegg, A., L. Shantz, and C. Coleman, *Ornithine decarboxylase: structure, function and translational regulation*. Biochem. Soc. Trans, 1994. **22**: p. 846-852 (C).
688. Pegg, A., L. Shantz, and C. Coleman, *Ornithine decarboxylase as a target for chemoprevention*. J. Cell. Biochem, 1995. **22**: p. 132-138 (C).
689. Penafiel, L.M., et al., *Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(2): p. 132-141 (A) (E) (S) (C).
690. Pennes, H.H., *Analysis of tissue and arterial blood temperature in the resting human forearm*. J Appl Physiol, 1948. **1**: p. 92 (S).
691. Penrose, R., *Shadows of the Mind*. Oxford, Oxford University Press, 1994: p. (S).
692. Peralta-Soler, S., et al., *Polyamines regulate expression of the neoplastic phenotype in mouse skin*. Cancer Res, 1998. **58**: p. 1654-1659 (C).
693. Perry, F.S., et al., *Environmental power-frequency magnetic fields and suicide*. Health Phys, 1981. **41**(2): p. 267-277 (C).
694. Persson, B.R.R., et al., *Increased permeability of the blood-brain barrier induced by magnetic and electromagnetic fields*. Ann N Y Acad Sci : Biological Effects and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy (Proceedings of a conference held 15-17 May 1991, Bethesda, MD). R. L. Magin, R. P. Liburdy, B. Persson, eds., New York Acad. of Sciences, 1992. **649**: p. 356-358 (K).
695. Persson, B.R.R., L.G. Salford, and A. Brun, *Albumin leakage through the blood brain-barrier in rats induced by cw and pulse modulated 915-Mhz electromagnetic radiation exposure in TEM cells. (Meeting Abstract)*. European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 3rd International Congress, 29 February-3 March, Nancy, France, 1996: p. (A).
696. Persson, B.B.R., et al., *Effects on growth of implanted brain tumours and on the permeability of the blood-brain-barrier in rats exposed to 900/1800 MHz RF fields*. Proceedings of the 26th General Assembly of URSI, Toronto, Canada, 1999: p. (E).
697. Petersen, R.C. and P.A. Testagrossa, *Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular-radio cell-site antennas*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(6): p. 527-542 (C).
698. Petrides, M., *Exposure to electromagnetic fields by using cellular telephones and its influence on the brain*. Neuroreport, 2000. **11**(15): p. F15 (R).
699. Phelan, A.M., et al., *Modification of membrane fluidity in melanin-containing cells by low-level microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1992. **13**(2): p. 131-146 (S) (C).
700. Philippova, T.M., V.I. Novoselov, and S.I. Alekseev, *Influence of microwaves on different types of receptors and the role of peroxidation of lipids on receptor-protein shedding*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**(3): p. 183-192 (S).
701. Phillips, J.L., et al., *DNA Damage in Molt-4 T-lymphocyte Cells Exposed to Cellular Telephone Radiofrequency Fields In Vitro*. Bioelectrochem Bioenerg, 1998. **45**(1): p. 103-110 (A) (E) (S) (C).

702. Phillips, L.P., et al., *Genotoxicity of radio frequency radiation fields generated from analog, TDMA, CDMA and PCS technology evaluated using a three test in vitro battery*. Environ Mol Mutagen, 1999. **33**(supp 30): p. 49 (S).
703. Pokorny, J. and T.M. Wu, *Biophysical Aspects of Coherence and Biological Order*. Biophysical Aspects of Coherence and Biological Order. Springer Verlag DM (ISBN 3-540-64651-5)/Academia Publishing House, 1998: p. 240 pp. (S).
704. Pokovic, K., et al., *Design and characterization of E-Field probes for lossy media*. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, (submitted): p. (A).
705. Pokovic, K., T. Schmid, and N. Kuster, *Millimeter-resolution E-field probe for isotropic measurements in lossy media between 100 MHz - 10 GHz*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, 2000. (**in press**): p. (A).
706. Pokovic, K., et al., *Novel E- and H-field probes providing pseudo-vector information*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2000. (**in press**): p. (A).
707. Polson, P. and L.N. Heynick, *Overview of the radiofrequency radiation (RFR) bioeffects database*. In : Radiofrequency radiation standards - Biological effects, dosimetry, epidemiology and public health policy (NATO ASI Series, series A : Life Sci, Klauenberg BJ, Grandolfo M, Erwin D, eds, 1994. **274**: p. 337-388 (K).
708. Postow, E. and M.L. Swicord, *Modulated Fields and "Window"*. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Second Edition. C. Polk, E. Postow, eds., Boca Raton: CRC Press, 1996: p. 535-580 (C).
709. Power, R.S., et al., *Stress-inducible transgenic nematodes as biomonitors of soil and water pollution*. J Biosci, 1998. **23**: p. 513 (S).
710. Prato, F.S., et al., *Blood Brain Barrier permeability in rats is altered by exposure to magnetic fields associated with magnetic resonance imaging at 1,5 T*. Microsc Res Tech, 1994. **27**(6): p. 528-534 (A) (C).
711. Prato, F.S., et al., *Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function*. FASEB J, 1995. **9**(9): p. 807-814 (C).
712. Prato, F.S., M. Kavaliers, and J.L.L. Carson, *Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents*. Bioelectromagnetics, 1996. **17**(2): p. 123-130 (C).
713. Prausnitz, S. and C. Susskind, *Effects of chronic microwave irradiation on mice*. IRE Transcripts Biomed Electron, 1962. **9**: p. 104-108 (K) (S) (C).
714. Preece, A.W., K.A. Wesnes, and G.R. Iwi, *The effect of a 50 Hz magnetic field on cognitive function in humans*. Int J Radiat Biol, 1998. **74**(4): p. 463-470 (A).
715. Preece, A.W., et al., *The effects of a 915-MHz simulated mobile phone transmission on cognitive function in human*. Int J Radiat Biol, 1999. **75**(4): p. 447-456 (A) (E) (S).
716. Preskorn, S.H., W.D. Edwards, and D.R. Justesen, *Retarded tumor growth and greater longevity in mice after fetal irradiation by 2450 MHz microwaves*. J Surg Oncol, 1978. **10**(6): p. 483-492 (K) (S) (C).
717. Pressman, A.S., *The effect of microwaves on living organisms and biological structures*. Usp. Fiz Nauk, 1965. **86**: p. 263 (C).
718. Preston, E., E.J. Vavasour, and H.M. Assenheim, *Permeability of the blood-brain barrier to mannitol in the rat following 2450 MHz microwave irradiation*. Brain Res, 1979. **174**(1): p. 109-117 (K) (C).
719. Preston-Martin, S., W. Mack, and B.E. Henderson, *Risk factors for gliomas and meningiomas in males in Los Angeles County*. Cancer Res, 1989. **49**(21): p. 6137-6143 (K).
720. Prohovsky, E.W. and J.M. Eyster, *Prediction of giant breathing and rocking modes in double helical RNA*. Phys Lett, 1974. **A50**: p. 329 (S).
721. Pu, J.S., et al., *The effects of 3000-MHz microwave irradiation on electroencephalic energy and energy metabolism in mouse brain*. Electro Magnetobiol, 1997. **16**(3): p. 243-247 (A) (S).
722. Quock, R.M., et al., *Microwave facilitation of methylatropine antagonism of central cholinomimetic drug effects*. Radiat. Res, 1986. **105**: p. 3228-340 (C).
723. Raskmark, P. and B. Veyret, *Exposure Systems and Design Guidelines for in vitro and in vivo Microwave Experiments*. Position Paper of COST 244, 1996: p. (E).
724. Raslear, T.G., et al., *Temporal bisection in rats: the effects of high peak power pulsed microwave irradiation*. Bioelectromagnetics, 1993. **14**(5): p. 459-478 (K).

725. Rea, W.J., et al., *Electromagnetic field sensitivity*. J Bioelectr, 1991. **10**(1&2): p. 241-256 (K).
726. Redelmeir, D.A. and R.J. Tibshirani, *Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions*. J Med, 1997. **336**: p. 453-458 (S) (C).
727. Reeben, M., et al., *Induced expression of neurotrophins in transgenic mice overexpressing ornithine decarboxylase and overproducing putrescine*. J. Neurosci. Res, 1996. **45**: p. 542-548 (C).
728. Reid, S.W., et al., *Radio-frequency electromagnetic field from mobile phones (Letter and reply)*. Lancet, 1998. **352**(9127): p. 576-577 (S).
729. Reiser, H., W. Dimpfel, and F. Schober, *The influence of electromagnetic fields on human brain activity*. Eur J Med Res, 1995. **1**(1): p. 27-32 (K) (A) (S) (C).
730. Reite, M., et al., *Sleep-inducing effect of low energy emission therapy*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**(1): p. 67-75 (K) (C).
731. Reiter, R.J., *Pineal melatonin: cell biology of its synthesis and of its physiological interactions*. Endocr Rev, 1991. **12**(2): p. 151-179 (S) (C).
732. Reiter, R.J., *The melatonin rhythm - both a clock and a calendar*. Experientia, 1993. **49**: p. 654-664 (S) (C).
733. Repacholi, M.H. and E. Cardis, *Criteria for EMF health risk assessment*. Radiat Prot Dosim, 1997. **72**(3-4): p. 305-312 (E) (S).
734. Repacholi, M.H., et al., *Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields*. Radiat Res, 1997. **147**(5): p. 631-640 (A) (E) (S) (C).
735. Repacholi, M.H., *Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs*. Bioelectromagnetics, 1998. **19**(1): p. 1-19 (E) (S) (C).
736. Repacholi, M.H. and B. Greenebaum, *Interaction of static and extremely low frequency fields on living systems: Health effects and research needs*. Bioelectromagnetics, 1999. **20**(3): p. 133-160 (E).
737. Resnekov, L., *Noise, radio frequency radiation and the cardiovascular system*. Circulation, 1981. **63**(1): p. 264A-266A (S).
738. Roberti, B., et al., *Preliminary investigations of the effects of low-level microwave radiation on spontaneous motor activity in rats*. Ann NY Acad Sci, 1975. **247**: p. 417 (S).
739. Roberts, N.J., Jr., *Radiofrequency and microwave effects on immunological and hematopoietic systems*. Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation. Radiofrequency and Microwave Energies. M. Grandolfo, S. M. Michaelson, A. Rindi, eds., New York: Plenum Press, 1983: p. 429-459 (K) (S).
740. Roberts, N., S.-T. Lu, and S.M. Michaelson, *Human leukocyte functions and the US Safety Standard for exposure to radiofrequency radiation*. Science, 1983. **220**(4594): p. 318-320 (K).
741. Roberts, N.J., Jr and S.M. Michaelson, *Epidemiological studies of human exposures to radiofrequency radiation. A critical review*. Int Arch Occup Environ Health, 1985. **56**(3): p. 169-178 (C).
742. Roberts, N.J., Jr., S.M. Michaelson, and S.-T. Lu, *The biological effects of radiofrequency radiation: a critical review and recommendations*. Int J Radiat Biol, 1986. **50**(3): p. 379-420 (S) (C).
743. Roberts, N.J., Jr., S.M. Michaelson, and S.T. Lu, *Mitogen Responsiveness after Exposure of Influenza Virus Infected Human Mononuclear Leukocytes to Continuous or Pulse Modulated Radiofrequency Radiation*. Radiat Res, 1987. **110**: p. 353-361 (K).
744. Robinette, C.D., C. Silverman, and S. Jablon, *Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar)*. Am J Epidemiol, 1980. **112**(1): p. 39-53 (K) (S) (C).
745. Robinson, C.F., et al., *Electromagnetic field exposure and leukemia mortality in the United States*. J Occup Med, 1991. **33**(2): p. 160-162 (K).
746. Rojavin, M.A., et al., *Anti-puritic effect of millimeter waves in mice: Evidence for opioid involvement*. Life Sci, 1998. **63**(18): p. PL251-PL257 (C).
747. Rom, E. and C. Kahana, *Polyamines regulate the expression of ornithine decarboxylase antizyme in vitro by inducing ribosomal frame-shifting*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1994. **91**: p. 3959-3963 (C).
748. Roschke, J. and K. Mann, *No short-term effects of digital mobile radiotelephone on t awake human electroencephalogram*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(2): p. 172-176 (A) (E) (S).
749. Rosen, A.D., *Direct current magnetic fields: mechanisms of action*. Biological Effects of Electric and Magnetic Fields. Volume I: Sources and Mechanisms. D. O. Carpenter and S. Ayrapetyan, eds., San Diego: Academic Press, 1994: p. 165-179 (K).
750. Roszkowski, W., et al., *Does whole-body hyperthermia therapy involve participation of the immune system?*. Int. J. Cancer, 1980. **25**: p. 289-292 (K) (C).

751. Rothman, K.J., et al., *Overall mortality of cellular telephone customers*. *Epidemiology*, 1996. **7**(3): p. 303-305 (K) (E) (S) (C).
752. Rothman, K.J., et al., *Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research*. *Epidemiology*, 1996. **7**(3): p. 291-298 (K) (E).
753. Rothman, K.J., *State of the science in RF epidemiology*. G.L. Carlo (Ed.) *Wireless Phones and Health*. Scientific Progress. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998: p. 205-223 (E).
754. Rothman, K., *Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones*. *The Lancet*, 2000. **356**: p. 1837-1840 (R).
755. Rotkowska, D., et al., *Evaluation of the biological effects of police radar RAMER 7E*. *Environ Health Perspect*, 1993. **101**(2): p. 134-136 (S) (C).
756. Royal Society of Canada Expert Panel Report, et al., *A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices*. An Expert Panel Report prepared at the request of the Royal Society of Canada for Health Canada. Ottawa, Royal Society of Canada, 1999. **RSC.EPR 99-1**: p. (S).
757. Rugh, R., et al., *Are microwaves teratogenic ?* *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*. Proceedings of an International Symposium, 15-18 October 1973, Warsaw, Poland; P. Czerski, K. Ostrowski, M. L. Shore, Ch. Silverman, M. J. Suess, B. Waldeskog, E. Shalmon (eds.). Warsaw: Polish Medical Publishers, 1974: p. 98-107 (C).
758. Sadchikova, M.N., *Clinical manifestations of reactions to microwave irradiation in various occupational groups*. *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*. Proceedings of an International Symposium, 15-18 October 1973, Warsaw, Poland; P. Czerski, K. Ostrowski, M. L. Shore, Ch. Silverman, M. J. Suess, B. Waldeskog, E. Shalmon (eds.). Warsaw: Polish Medical Publishers, 1974: p. 261-267 (S).
759. Sagan, L.A., *Epidemiological and laboratory studies of power frequency electric and magnetic fields*. *JAMA*, 1992. **268**(5): p. 625-629 (C).
760. Sahl, J.D., M.A. Kelsh, and S. Greenland, *Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers*. *Epidemiology*, 1993. **4**(2): p. 104-114 (K).
761. Salford, L., et al., *Electromagnetic field-induced permeability of the blood-brain barrier shown by immunohistochemical methods*. *Resonance Phenomena in Biology*. B. Norden, C. Ramel, eds., Oxford Univ. Press, Oxford, 1992: p. 87-91 (C).
762. Salford, L.G., et al., *Experimental studies of brain tumor development during exposure to continuous and pulsed 915 Mhz radiofrequency radiation*. *Bioelectrochem Bioenerg : 'Current Concepts in Bioelectromagnetics'* (selected papers from the First Congress of the European Bioelectromagnetics Association, M. Hinsenkamp and M. Rooze, eds., ISBN 0302-4598), 1993. **30**: p. 313-318 (K) (A) (S) (C).
763. Salford, L.G., et al., *Permeability of the Blood-brain Barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz*. *Microsc Res Tech*, 1994. **27**(6): p. 535-542 (K) (A) (S) (C).
764. Salford, L.G., et al., *Experimental studies on brain tumor development in rats during exposure to cw and pulse modulated 915 Mhz electromagnetic radiations in TEM cells (Meeting Abstract)*. European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 3rd International Congress, 29 February-3 March, Nancy, France, 1996: p. (A).
765. Salford, L.G., A. Brun, and B.R.R. Persson, *Brain Tumour Development in Rats Exposed to Electromagnetic Fields used in Wireless Cellular Communication*. *Wireless Networks*, 1997. **3**: p. 463-469 (A).
766. Salzinger, K., *Behavioral effects of electromagnetic fields in animals*. *Biological Effects of Electric and Magnetic Fields*. Volume I: Sources and Mechanisms. D. O. Carpenter and S. Ayrapetyan, eds., San Diego: Academic Press, 1994: p. 315-331 (S).
767. Samaras, T., M. Burkhardt, and N. Kuster, *Coupled electrothermal calculations for non-ionizing radiation dosimetry*. Proceedings of the 20th Annual Meeting of BEMS, St. Petersburg, USA, 1998: p. (E).
768. Sanders, A.P., D.J. Schaefer, and W.T. Joines, *Microwave effects on energy metabolism of rat brain*. *Bioelectromagnetics*, 1980. **1**(2): p. 171-181 (K) (C).
769. Sanders, A.P. and W.T. Joines, *The effects of hyperthermia and hyperthermia plus microwaves on rat brain energy metabolism*. *Bioelectromagnetics*, 1984. **5**(1): p. 63-70 (K).

770. Sanders, A.P., W.T. Joines, and J.W. Allis, *Effect of continuous-wave, pulsed, and sinusoidal-amplitude-modulated microwaves on brain energy metabolism*. Bioelectromagnetics, 1985. **6**(1): p. 89-97 (K) (C).
771. Sandstrom, M., et al., *Skin symptoms among VDT workers related to electromagnetic fields - a case referent study*. Indoor Air, 1995. **5**(1): p. 29-37 (K).
772. Santini, R., et al., *B16 melanoma development in black mice exposed to low-level microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1988. **9**(1): p. 105-107 (K) (S) (C).
773. Santo, L., *Escherichia coli induction by millimetre waves (meeting abstract)*. Techniques in Studies of Biological Effects of Low-level Millimeter Waves, 1983, 1983: p. (S).
774. Sanza, J.N. and J. de Lorge, *Fixed interval behavior of rats exposed to microwaves at low power densities*. Radio Sci, 1977. **12**(6S): p. 273-277 (S).
775. Sarkar, S., S. Ali, and J. Behari, *Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis*. Mutat Res, 1994. **320**(1,2): p. 141-147 (K) (A) (S) (C).
776. Saunders, R.D. and C.I. Kowalczyk, *Effect of 2450 MHz microwave radiation and heat on mouse spermatogenic*. Int J Radiat Biol, 1981. **40**(6): p. 623-632 (S) (C).
777. Saunders, R.D., S.C. Darby, and C.I. Kowalczyk, *Dominant lethal studies in male mice after exposure to 2450 MHz microwave radiation*. Mutat Res, 1983. **117**(3-4): p. 345-356 (S) (C).
778. Saunders, R.D., et al., *Studies of the induction of dominant lethals and translocations in male mice after chronic exposure to microwave radiation*. Int J Radiat Biol, 1988. **53**(6): p. 983-992 (A) (S) (C).
779. Saunders, R.D., *Biological effects of exposure to non-ionising electromagnetic fields and radiations: III. Radiofrequency and microwave radiation*. Natl. Radiological Protection Board, Oxon, UK, Report No. NRPB-R240, 1991: p. (K).
780. Savitz, D.A. and D.P. Loomis, *Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers*. Am J Epidemiol, 1995. **141**(2): p. 123-134 (K).
781. Scarfi, M.R., et al., *Genotoxic effects of mitomycin-C and microwaves radiation on bovine lymphocytes*. Electro Magnetobiol, 1996. **15**(2): p. 99-107 (A) (S).
782. Scholl, D.M. and S.J. Allen, *Skilled visual-motor performance by monkeys in a 1.2-GHz microwave field*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 247-252 (S).
783. Schonborn, F. and N. Kuster, *Numerical dosimetry of a set-up for the exposure of eu-pim1 mice at 900 MHz (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-160, 1999: p. 246 (E).
784. Schottenfield, D., J. Fraumeni, and eds, *Cancer epidemiology and prevention*. Philadelphia: WB Saunders, 1982: p. (K).
785. Schönborn, F., et al., *Design, optimization, realization and analysis of an in vitro set-up for the exposure of embryonal stem cells at 1.71 GHz*. Bioelectromagnetics, 2000. **21**(5): p. 372-384 (E).
786. Schrot, J., J.R. Thomas, and R.A. Banvard, *Modification of the repeated acquisition of response sequences in rats by low-level microwave exposure*. Bioelectromagnetics, 1980. **1**(1): p. 89-99 (S).
787. Schwan, H., *Electrical properties of tissue and cell suspensions*. Adv Biol Med Phys, 1957. **5**: p. 147-209 (K).
788. Schwan, H.P., *EM-field induced force effects*. Interactions Between Electromagnetic Fields and Cells. A. Chiabrera, C. Nicolini, H. P. Schwann, eds., 'Proceedings of a NATO Advanced Res. Workshop entitled Interactions Between Electromagnetic Fields and Cells, held September 17-28, 1984 in Erice, Sicily, Italy'; NATO Advanced Science Insts. Series. Series A, Life Sciences. v. 97, London: Plenum, 1985: p. 371-389 (S).
789. Schwan, H., *Biological effects of non-ionizing radiations: cellular properties and interactions*. Ann Biomed Eng, 1988. **16**: p. 245-63 (K).
790. Science and Technology Committee, *Third Report. Scientific advisory system: mobile phones and health*. Report and Proceedings of the Committee, 1999. **1**: p. (S).
791. Scott, A.C., *Soliton oscillations in DNA*. Phys Rev A, 1985. **31**: p. 3518 (S).
792. Scott, I.R. and J.E.H. Tattersall, *The effects of radiofrequency radiation on long term potentiation in rat hippocampal slices (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-49, 1999: p. 110-111 (E).
793. Scottish Parliament Transport and the Environment Committee, *Third Report. Report on inquiry into the proposals to introduce new planning procedures for telecommunications developments*. 2000: p. (S).

794. Seaman, R.L. and H. Wachtel, *Slow and rapid responses to CW and pulsed microwave radiation by individual Aplysia pacemakers*. J Microw Power, 1978. **13**(1): p. 77-86 (K) (S).
795. Seaman, R.L. and R.M. Lebovitz, *Thresholds of cat cochlear nucleus neurons to microwave pulses*. Bioelectromagnetics, 1989. **10**(2): p. 147-160 (K) (S) (C).
796. Seiler, N., *Potential roles of polyamine interconversion in the mammalian organism*. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1988. **250**: p. 127-145 (C).
797. Selvin, S., J. Schulman, and D.W. Merrill, *Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancer*. Soc Sci Med, 1992. **34**(7): p. 769-777 (S) (C).
798. Shandala, M.G., et al., *Study of nonionizing microwave radiation effects upon the central nervous system and behavior reactions*. Environ Health Perspect, 1979. **30**: p. 115-121 (K) (S) (C).
799. Shantz, L. and A. Pegg, *Ornithine decarboxylase induction in transformation by H-Ras and RhoA*. Cancer Res, 1998. **58**: p. 2748-2753 (C).
800. Shellock, F.G., S. Morisoli, and E. Kanal, *MR procedures and biomedical implants, materials and devices, 1993 update*. Radiology, 1993. **189**(2): p. 587-599 (K).
801. Shelton, W.W. and J.H. Merritt, *In vitro study of microwave effects on calcium efflux in rat brain tissue*. Bioelectromagnetics, 1981. **2**(2): p. 161-167 (K) (S) (C).
802. Sheppard, A.R., S.M. Bawin, and W.R. Adey, *Models of long-range order in cerebral macromolecules: effect of sub-ELF and of modulated VHF and UHF fields*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 141-145 (K) (S).
803. Sheppard, A.R., *Where does the energy go? Microwave absorption in biological objects on the microscopic and molecular scales*. Wireless Phones and Health: Scientific Progress (E.G. Carlos, ed), 1998. *In press*: p. (K) (C).
804. Shi, R., C.C. Davis, and S.M. Motzkin, *Do 27-MHz and 2450-MHz RFR affect in vitro proliferation of human LN-71 glioma cells? (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. 1-6, 1999: p. 13-14 (E).
805. Shimono, A.S.a.K., *High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow*. Mutat. Res, 1997. **390**: p. 79-83.
806. Shirai, T., et al., *Lack of promoting effects of electromagnetic near-field used in cellular phones (929 MHz) on rat liver carcinogenesis in medium-term bioassay (Meeting abstract)*. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13 June, Bologna, Italy, 1997: p. 110 (C).
807. Shore, L., A. Soler, and S. Gilmour, *Ornithine decarboxylase expression leads to translocation and activation of protein kinase CK2 in vivo*. J. Biol. Chem., 1997. **272**: p. 12536-12543 (C).
808. Sienkiewicz, Z.J., et al., *Biological effects of electromagnetic fields and radiation*. The Review of Radio Science 1990-1992. W. R. Stone, G. Hyde, P. I. Somlo, S. Strom, P. A. Matthews, T. Itoh, P. Degauque, R. K. Moore, K. C. Yeh, F. Lefevre, T. Tzioumis, P. Bernardi, eds., Oxford: Oxford University Press, 1993: p. 737-770 (S).
809. Sienkiewicz, Z.J., R.P. Blackwell, and R.D. Saunders, *Effects of low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation on the performance of a spatial memory task in mice (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. 15-7, 1999: p. 90 (E).
810. Sienkiewicz, Z.J., et al., *Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial memory task in mice*. Bioelectromagnetics, 2000. **21**: p. 151-158 (A) (S).
811. Sigler, A.T., et al., *Radiation exposure in parents of children with mongolism (Down's Syndrome)*. Bull Johns Hopkins Hosp, 1965. **117**: p. 374-399 (C).
812. Silverman, C., *Nervous and behavioural effects of microwave radiation in humans*. Am J Epidemiol, 1973. **97**(4): p. 219-224 (C).
813. Singh, N., et al., *Poly ADP ribosylation as a possible mechanism of microwave-biointeraction*. Indian J Physiol Pharmacol, 1994. **38**(3): p. 181-184 (C).
814. Skidmore, W.D. and S.J. Baum, *Biological effects in rodents exposed to 10 8 pulses of electromagnetic radiation*. Health Phys, 1974. **26**: p. 391-398 (S) (C).
815. Smialowicz, R.J., et al., *Biological effects of long-term exposure of rats to 970 MHz radiofrequency radiation*. Bioelectromagnetics, 1981. **2**(3): p. 279-284 (K).

816. Smialowicz, R.J., et al., *Assessment of the immune responsiveness of mice irradiated with continuous wave or pulse modulated 425 MHz radiofrequency radiation*. Bioelectromagnetics, 1982. **3**(4): p. 467-470 (K).
817. Smialowicz, R.J., et al., *Exposure of rats to 425 MHz CW radiofrequency radiation: effects on lymphocytes*. J Microw Power, 1982. **17**(3): p. 211-221 (K).
818. Smialowicz, R.J., et al., *Microwave suppress murine natural killer cell activity*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**(4): p. 371-381 (K) (S).
819. Smialowicz, R., *Hematologic and immunologic effects*. Elder JA, Cahill DF, eds. Biological effects of radio frequency radiation. US Environmental Protection Agency, 1984. **EPA-600/8-83-026F**(5): p. 13-28 (K).
820. Smialowicz, R.J., *Immunologic effects of nonionizing electromagnetic radiation*. IEEE Eng Med Biol, 1987. **6**(1): p. 47-51 (K).
821. Smith, M., et al., *Ornithine decarboxylase overexpression leads to increased epithelial invasiveness*. Cancer Res, 1997. **57**: p. 2104-2108 (C).
822. Smith, M., C. Trempus, and S. Gilmour, *Co-operation between follicular ornithine decarboxylase and v-Ha-ras induces spontaneous papillomas and malignant conversion in transgenic skin*. Carcinogenesis, 1998. **19**: p. 1409-1415 (C).
823. Snyder, S.H., *The effect of microwave irradiation on the turnover rate of serotonin and norepinephrine and the effect of microwave metabolizing enzymes*. Washington DC, US Army Medical Research and Development Command Final Report, 1971. **Contract No DADA 17-69-C-9144**: p. (K) (S).
824. Sobel, E. and Z. Davanipour, *Electromagnetic field exposure may cause increased production of beta amyloid and may eventually lead to Alzheimer's disease*. Neurology, 1996. **47**(6): p. 1594-1600 (C).
825. Soler, A., et al., *Modulation of murine hair follicle function by alterations in ornithine decarboxylase activity*. J. Invest. Dermatol, 1996. **106**: p. 1108-1113 (C).
826. Sömjen, D., et al., *Ornithine decarboxylase activity in cultured bone cells is activated by bone-seeking hormones and physical stimulation*. Adv. Polyamine Res., 1983. **4**: p. 713-718 (C).
827. Spalding, J.F., R.W. Freyman, and L.M. Holland, *Effects of 800 MHz electromagnetic radiation on body weight, activity, haematopoiesis and life span in mice*. Health Phys, 1971. **20**: p. 421-424 (K) (S) (C).
828. Speers, M.A., J.G. Dobbins, and V.S. Miller, *Occupational exposures and brain cancer mortality: a preliminary study of East Texas residents*. Am J Ind Med, 1988. **13**(6): p. 629-638 (K).
829. Spittler, J., P. Calabrese, and W. Gehlen, *Cerebro-Biological Effects in Low Frequency Pulsed RF Fields*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
830. Stagg, R.B., et al., *DNA synthesis and cell proliferation in C6 glioma and primary glial cells exposed to a 836.55 MHz Modulated radiofrequency field*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(3): p. 230-236 (A) (E) (S) (C).
831. Stark, K.D.C., et al., *Absence of chronic effect of exposure to short-wave radio broadcast signal on salivary melatonin concentrations in dairy cattle*. J Pineal Res, 1997. **22**(4): p. 171-176 (A) (S) (C).
832. Statistics Canada, *The Canadian Cellular Telephone Service Industry: Historical Statistics*. Service Bulletin, Communications, 1998. **28**(1): p. (C).
833. Steele, R. and L. Hanzo, *Mobile Communications*. New York, Wiley, (2 nd edition)., 1999: p. (S).
834. Steneck, N., et al., *The origins of U.S. safety standards for microwave radiation*. Science, 1980. **6**: p. 1230-37 (C).
835. Stevens, R.G., *Electric power use and breast cancer: a hypothesis*. Am J Epidemiol, 1987. **125**(4): p. 556-561 (S) (C).
836. Stodolnik-Baranska, W., *Microwave-induced lymphoblastoid transformation of human lymphocytes in vitro*. Nature, 1967. **214**: p. 102-103 (K) (C).
837. Strayer, D.L., W.A. Johnston, and S. Grison, *Driven to distraction: studies of driving and cellular phone use*. Abs Psychonomic Soc (conference abstract)., 1999. **4**: p. 16 (S).
838. Sutton, C.H. and F.B. Carroll, *Effects of microwave-induced hyperthermia on the blood-brain barrier of the rat*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 329-334 (K) (C).
839. Suzuki, T., et al., *Antizyme protects against abnormal accumulation and toxicity of polyamines in ornithine decarboxylase-overproducing cells*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1994. **91**: p. 8930-8934 (C).

840. Swerdlow, A.J., *Epidemiology of chronic diseases in relation to radiofrequency radiation exposure: issues in interpretation of the current literature and future directions for research*. Non-Thermal Effects of RF Electromagnetic Fields. Proceedings: International Seminar on Biological Effects of Non-Thermal Pulsed and Amplitude Modulated RF Electromagnetic Fields and Related Health Risks, Munich, Germany, 20-21 November 1996, J.H. Bernhardt, R. Matthes, M.H. Repacholi, eds., 1997. **ICNIRP 3/97**: p. 191-198 (E) (S).
841. Swerdlow, A.J., *Measurement of radiofrequency radiation exposure in epidemiological studies*. Radiat Prot Dosim; Proceedings of an International Workshop, Exposure Metrics and Dosimetry for EMF Epidemiology, National Radiation Protection Board, Chilton, UK, 7-9 September, 1998, 1999. **83**(1-2): p. 149-153 (E).
842. Szmigielski, S., et al., *Accelerated development of spontaneous and benzo(a)pyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwave radiation*. Bioelectromagnetics, 1982. **3**(2): p. 179-191 (K) (A) (S) (C).
843. Szmigielski, S., et al., *Immunologic and cancer-related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields*. Modern Bioelectricity. A. A. Marino, ed. New York: Marcel Dekker, 1988: p. 861-925 (S) (S).
844. Szmigielski, S., *Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation*. Sci Total Environ, 1996. **180**(1): p. 9-17 (K) (S) (C).
845. Szudzinski, A., et al., *Acceleration of the development of benzo(a)pyrene-induced skin cancer in mice by microwave radiation*. Arch Dermatol Res, 1982. **274**(3-4): p. 303-312 (S) (C).
846. Tabib, A. and U. Bachrach, *Activation of the proto-oncogene c-myc and c-fos by c-ras: Involvement of polyamines*. Biochem. Biophys. Res. Commun, 1994. **202**: p. 729-727 (C).
847. Tabib, A. and U. Bachrach, *Polyamines induce malignant transformation in cultured NIH 3T3 fibroblasts*. Int. J. Biochem. Cell Biol, 1998. **30**: p. 135-146 (C).
848. Takashima, S., B. Onaral, and H.P. Schwan, *Effects of modulated RF energy on the EEG of mammalian brains : Effects of Acute and Chronic Irradiations*. Radiat Environ Biophys, 1979. **16**(1): p. 15-27 (S).
849. Taskinen, H., P. Kyyronen, and K. Hemminki, *Effects of ultrasound, shortwaves and physical exertion on pregnancy outcome in physiotherapists*. J Epidemiol Community Health, 1990. **44**(3): p. 196-201 (S) (C).
850. Taubes, G., *Epidemiology faces its limits*. Science, 1995. **268**(5221): p. 164-169 (C).
851. Taylor, E.M. and B.T. Ashleman, *Analysis of central nervous system involvement in the microwave auditory effect*. Brain Res, 1974. **74**: p. 201-8 (K) (S).
852. Tenforde, T.S. and R.P. Liburdy, *Magnetic deformation of phospholipid bilayers: effects on liposome shape and solute permeability at prophase transition temperatures*. J Theor Biol, 1988. **133**(3): p. 385-396 (S).
853. The Royal Society of New Zealand, *Radiation and the New Zealand community: a scientific overview*. Bulletin 34, 1998: p. (C).
854. Thimonier, C., et al., *No effect in humans of microwaves emitted by GSM mobile telephones on the auditory brainstem responses and auditory distortion products*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
855. Thomas, J.R., L.S. Burch, and S.S. Yeandle, *Microwave radiation and chlordiazepoxide: Synergistic effects on fixed-interval behaviour*. Science, 1979. **203**(4387): p. 1357-1358 (C).
856. Thomas, J.R. and G. Maitland, *Microwave radiation and dextroamphetamine: evidence of combined effects on behaviour of rats*. Radio Sci, 1979. **14**(6S): p. 253-258 (C).
857. Thomas, T.L., et al., *Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: a case-control study*. J Natl Cancer Inst, 1987. **79**(2): p. 233-238 (K) (S) (C).
858. Thriault, G., et al., *Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada and France: 1970-1989*. Am J Epidemiol, 1994. **139**: p. 550-72 (K).
859. Thuroczy, G., et al., *Simultaneous response of brain electrical activity (EEG) and cerebral circulation (REG) to microwave exposure in rats*. Rev Environ Health, 1994. **10**(2): p. 135-148 (K) (A) (S) (C).

860. Thuroczy, G., et al., *Measurements of visual evoked potentials (VEP) and brain electrical activity (EEG) after GSM-type modulated microwave exposure on rats*. Honma T, editor. Advanced Computational Electromagnetics. Amsterdam: Elsevier/IOS Press, 1995: p. 384-395 (E).
861. Thuroczy, G., et al., *Human studies on potential influence of RF exposure emitted by GSM cellular phones on cerebral circulation and electroencephalogram (EEG)*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (A) (E).
862. Thuróczy, G., et al., *Human electrophysiological studies on influence of RF exposure emitted by GSM cellular phones*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. 721-724 (A).
863. Tibshirani, R. and D. Redelmeier, *Cellular telephones and motor-vehicle collisions: Some variations on matched-pairs analysis*. The Canadian Journal of Statistics, 1997. **25**(4): p. 581-591 (C).
864. Tice, R.T. and e. al, *Tests of mobile phone signals for activity in genotoxicity and other laboratory assays*. Presented at Annual Meeting of the Environmental Mutagen Society, 29 March 1999, Washington DC, 1999: p. (S).
865. Tinniswood, A.D., C.M. Furse, and O.P. Gandhi, *Computation of SAR distributions for two anatomically-based models of the human head using CAD files of commercial telephones and the parallelized FDTD code*. IEEE Trans Antennas Propag, 1998. **46**(6): p. 829-833 (A).
866. Tjandrawinata, R., L.r. Hawel, and C. Byus, *Characterization of putrescine and cadaverine export in mammalian cells. A pharmacological approach*. Biochem. Pharmacol, 1994. **48**: p. 2237-2249 (C).
867. Tjandrawinata, R., L.r. Hawel, and C. Byus, *Regulation of putrescine export in lipopolysaccharide or IFN-gamma- activated murine monocytic-leukemic RAW 264 cells*. J. Immunol, 1994. **152**: p. 3039-3052 (C).
868. Tjandrawinata, R. and C. Byus, *Regulation of the efflux of putrescine and cadaverine from rapidly growing cultured RAW 264 cells by extracellular putrescine*. Biochem. J, 1995. **305**: p. 291-299 (C).
869. Tofani, S., et al., *Effects of continuous low-level exposure to radiofrequency radiation on intrauterine development in rats*. Health Phys, 1986. **51**(4): p. 489-499 (C).
870. Toler, J.C., et al., *Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation*. Radiat Res, 1997. **148**(3): p. 227-234 (A) (E) (S) (C).
871. Tynes, T., A. Andersen, and F. Langmark, *Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields*. Am J Epidemiol, 1992. **136**(1): p. 81-88 (S).
872. Tynes, T., et al., *Incidence of breast cancer in Norwegian female radio and telegraph operators*. Cancer Causes Control, 1996. **7**(6): p. 197-204 (K) (S) (C).
873. U.S. FCC (Federal Communications Commission), *Guidelines for evaluating the environmental effects of radiofrequency radiation*. FCC, 1996: p. 96-326 (A).
874. UNEP, WHO, and IRPA, *Electromagnetic Fields (300 Hz - 300 GHz)*. Environmental Health Criteria 137. Geneva, World Health Organization, 1993: p. (K) (E) (S).
875. Urban, P., E. Lukas, and Z. Roth, *Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study*. Cent Eur J Public Health, 1998. **6**(4): p. 288-290 (S).
876. Valberg, P., W.T. Kaune, and B. Wilson, *Designing EMF experiments: What is required to characterize "Exposure"?* (Forum Paper : Article, Comments and Reply). Bioelectromagnetics, 1995. **16**(6): p. 396-406 (K).
877. Valtersson, U., K.H. Mild, and M.-O. Mattsson, *Ornithine decarboxylase activity in human lymphoblastoid cell line in the presence of 50 Hz magnetic fields (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 17th Annual Meeting, 18-22 June, Boston, MA, 1995: p. 20 (C).
878. Valtersson, U., K. Hansson Mild, and M.-O. Mattsson, *Effects on ornithine decarboxylase activity and polyamine levels are different in Jurkat and CEM-CM3 cells after 50 Hz magnetic field exposure*. Biochemistry and Bioelectromagnetics, 1997. **43**: p. 169-172 (C).
879. van Leeuwen, F., *Second cancers*. Cancer: principles and practice of oncology. DeVita VT Jr, Hellman S, Rosenberg SA, eds. 5th ed. Philadelphia: Lippincott, 1996. **In press**: p. (K).
880. Van Leeuwen, G.M.J., et al., *Calculation of brain temperatures due to exposure to a mobile phone*. Phys Med Biol, 1999. **44**(10): p. 2367-2379 (S).

881. Van Zandt, L.L., *Resonant microwave absorption by dissolved DNA*. Phys Rev Letts, 1986. **57**(16): p. 2085 (S).
882. Varma, M.M., E.L. Dage, and S.R. Joshi, *Mutagenicity induced by non-ionizing radiation in swiss male mice*. Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the UNSC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 1975 (C C Johnson and M L Shore, Eds). Rockville, Maryland, US Department of Health, Education and Welfare, 1976. **1**: p. 386, 397-405 (S) (C).
883. Varma, M.M. and E.A.J. Traboulay, *Evaluation of dominant lethal test and DNA studies in measuring mutagenicity caused by non-ionizing radiation*. Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the UNSC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 1975 (C C Johnson and M L Shore, Eds). Rockville, Maryland, US Department of Health, Education and Welfare, 1976. **1**: p. 386-396 (S) (C).
884. Varma, M.M. and E.A. Traboulay, *Comparison of native and microwave irradiated DNA*. Experientia, 1977. **33**(12): p. 1649-1650 (S) (C).
885. Vasquez, M., et al., *Genotoxicity of radio frequency radiation fields generated from analog, TDMA, CDMA and PCNA in human blood cells evaluated using single gel (SCG) electrophoresis and the cytochalasin B micronucleus assay*. Environ Mol Mutagen, 1999. **33** (suppl 30): p. 66 (S).
886. Vassar, R. and E. Fuchs, *Transgenic mice provide new insights into the role of TGF- $\alpha$  during epidermal development and differentiation*. Genes Dev, 1991. **5**: p. 714-727 (C).
887. Velizarov, S., P. Raskmark, and S. Kwee, *The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal*. Bioelectrochem Bioenerg, 1999. **48**(1): p. 177-180 (A).
888. Verschaeve, L., *Can non ionizing radiation induce cancer?* Cancer J, 1995. **8**(5): p. 237-249 (K) (S).
889. Verschaeve, L., *Mobile telephones, genetic effects and cancer*. Proceedings 3rd International Symposium on Genetics, Health and Disease. Amritsar, India, 1996. **In press**: p. (K).
890. Verschaeve, L. and A. Maes, *Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields*. Mutat Res, 1998. **410**(2): p. 141-165 (E) (S) (C).
891. Veyret, B., et al., *Antibody responses of mice exposed to low power microwaves under combined, pulse and amplitude modulation*. Bioelectromagnetics, 1991. **12**(1): p. 47-56 (K).
892. Veyret, B., *Biological effects and mechanisms (Meeting Abstract)*. State of the Science Colloquium, sponsored by Wireless Technology Research, L.L.C. and The International Committee for Wireless Communication Health Research, 13-15 November, Rome, Italy, 1995: p. (K).
893. Vijayalaxmi, et al., *Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation*. Radiat Res, 1997. **147**(4): p. 495-500 (A) (E) (S) (C).
894. Vijayalaxmi, et al., *Proliferation and cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to 2450-MHz radiofrequency radiation*. Int J Radiat Biol, 1997. **72**(6): p. 751-757 (S).
895. Vijayalaxmi, et al., *Correction of an error in calculation in the article "Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation" (Radiat. Res. 147, 495-500, 1997) (Letter)*. Radiat Res, 1998. **149**(3): p. 308-312 (A) (S).
896. Vijayalaxmi, et al., *Frequency of micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to ultra-wideband electromagnetic radiation*. Int J Radiat Biol, 1999. **75**(1): p. 115-120 (S).
897. Violanti, J.M. and J.R. Marshall, *Cellular phones and traffic accidents: an epidemiological approach*. Accid Anal Prev, 1996. **29**: p. 265 (S).
898. Violanti, J.M., *Cellular phones and traffic accidents*. Public Health, 1997. **111**(1): p. 423 (S).
899. Violanti, J.M., *Cellular phones and fatal traffic collisions*. Accid Anal Prev, 1998. **30**: p. 519 (S).
900. Vollrath, L., et al., *No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(5): p. 376-387 (A) (E) (S) (C).
901. von Klitzing, L., *Periodically altered electromagnetic fields of extremely low energy influence EEG on man (Meeting Abstract)*. Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity, 31 October to 4 November, Savannah, GA, U.S. Dept. of Energy, 1993: p. 36 (A).
902. Von Klitzing, I., *Low frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man*. Phys. Med, 1995. **11**: p. 77-80 (K) (C).
903. Vorobyov, V.V., et al., *Effects of weak microwave fields amplitude modulated at ELF on EEG of symmetric brain areas in rats*. Bioelectromagnetics, 1997. **18**(4): p. 293-298 (A) (S).

904. Wachtel, H., R. Seaman, and W. Joines, *Effects of low-intensity microwaves on isolated neurons*. Ann N Y Acad Sci, 1975. **247**: p. 46-62 (K) (S).
905. Wagner, A., et al., *c-myc induces the expression and activity of ornithine decarboxylase*. Cell Growth Differ, 1993. **4**: p. 879-883 (C).
906. Wagner, P., et al., *Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions*. Bioelectromagnetics, 1998. **19**(3): p. 199-202 (E) (S) (C).
907. Wainwright, P.R., *Thermal effects of radiation from cellular telephones*. Phys Med Biol., 2000. **in press**: p. (S).
908. Walters, T.J., et al., *No detectable bioeffects following acute exposure to high peak power ultra-wide band electromagnetic radiation in rats*. Aviat Space Environ Med, 1995. **66**(6): p. 562-567 (K) (S).
909. Wan, J. and M. Erlander, *Cloning differentially expressed genes by using differential display and subtractive hybridization*. Meth. Mol. Biol, 1997. **85**: p. 45-68 (C).
910. Wang, Z., et al., *No evidence for effects of mild microwave irradiation on electrophysiological and morphological properties of cultured embryonic rat dorsal root ganglion cells*. Eur J Morphol, 1991. **29**(3): p. 198-206 (K) (S) (C).
911. Wang, X.-J., et al., *Epidermal expression of transforming growth factor- $\alpha$  in transgenic mice: induction of spontaneous and 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate-induced papillomas via a mechanism independent of Ha-ras activation or overexpression*. Mol. Carcinog, 1994. **10**: p. 15-22 (C).
912. Wang, B. and H. Lai, *Acute Exposure to Pulsed 2450 MHz Microwaves affects Water-Maze Performance of Rats*. Bioelectromagnetics, 2000. **21**(1): p. 52-56 (A) (S).
913. Ward, T.R., et al., *Measurement of blood-brain barrier permeation in rats during exposure to 2450 MHz microwaves*. Bioelectromagnetics, 1982. **3**(3): p. 371-383 (K) (C).
914. Watanabe, S., M. Taki, and Y. Yamanaka, *SAR dosimetry of large-size Sprague-Dawley rats in a local exposure set-up (Meeting abstract)*. Bioelectromagnetics Society, 21st Annual Meeting, 20-24 June, Long Beach, CA, Abstract No. P-119, 1999: p. 145-146 (E).
915. Which?, *The ring of truth*. London. Consumers Association, April,, 2000: p. 13 (S).
916. WHO, *"Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300Hz to 300 GHz). "*. Geneva: World Health Organization, 1993: p. 80-180 and 290 (C).
917. WHO, *Low level exposure to radiofrequency Electromagnetic Fields Health Effects and Research Needs*. WHO. Research Coordination Committee meeting on Electromagnetic Fields 4/5 Dec 1997, 1997: p. 8 (A).
918. WHO, *Electromagnetic fields and public health: cautionary policies*. Geneva, World Health Organization, 2000: p. (S).
919. WHO/IRPA, *Electromagnetic Fields (300 kHz-300 GHz): Environmental Health Criteria 137*. United Nations Environmental Programme, World Health Organization, International Radiation Protection Association. Geneva : World Health Organization, 1993: p. (C).
920. Wiart, J., et al., *Local Exposure System*. Workshop of COST 244bis on exposure systems, Zurich, February 1999, 1999: p. (E).
921. Wiklund, K., J. Einhorn, and G. Eklund, *An application of the Swedish cancer environment registry: leukemia among telephone operators at the telecommunications administration in Sweden*. Int J Epidemiol, 1981. **10**(4): p. 373-376 (K).
922. Wiktor-Jedrzejczak, W., et al., *Microwaves induce an increase in the frequency of complement receptor bearing lymphoid spleen cells in mice*. J Immunol, 1977. **118**(4): p. 1499-1502 (K).
923. Williams, R. and T. Webb, *Exposure to radiofrequency radiation from an aircraft radar unit*. Aviat Space Environ Med, 1980. **51**: p. 1243-44 (C).
924. Williams, W.M., et al., *Effects of 2450MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. A: Effect on the permeability to sodium fluorescein*. Brain Res Rev, 1984. **7**: p. 165-170 (C).
925. Williams, W.M., M. del Cerro, and S.M. Michaelson, *Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. B. Effect on the permeability to HRP*. Brain Res Rev, 1984. **7**(2): p. 171-181 (S) (C).

926. Williams, W.M., J. Platner, and S.M. Michaelson, *Effects of 2450MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. C: Effect on the permeability to 14 C-sucrose*. Brain Res Rev, 1984. **7**(2): p. 183-190 (C).
927. Williams, G.M. and J. Whysner, *Epigenetic carcinogens: evaluation and risk assessment*. Experim Toxicol Pathol, 1996. **48**: p. 189 (S).
928. Wilson, B.W., et al., *Chronic exposure to 60-Hz electric fields: effects on pineal function in the rat*. Bioelectromagnetics, 1981. **2**(4): p. 371-380 (C).
929. Wolff, S., et al., *Magnetic resonance imaging: absence of in vitro cytogenetic damage*. Radiology, 1985. **155**: p. 163-165 (S) (C).
930. Wood, S.J., J.J. Nettell, and J.E.H. Tattersall, *An electrophysiological investigation of the effects of radiofrequency radiation on rat hippocampal slices*. Soc Neurosci Abstr, 1997. **23**: p. 2205 (E).
931. Wright, W.E., J.M. Peters, and T.M. Mack, *Leukaemia in workers exposed to electrical and magnetic fields*. Lancet, 1982. **2**(8308): p. 1160-1161 (K).
932. Wrighton, C. and M. Busslinger, *Direct transcriptional stimulation of the ornithine decarboxylase gene by fos in PC121 cells but not in fibroblasts*. Mol. Cell. Biol, 1993. **13**: p. 4657-4669 (C).
933. Wu, R.Y., et al., *Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice*. Bioelectromagnetics, 1994. **15**(6): p. 531-538 (A) (E) (S) (C).
934. Yang, H.K., et al., *Effects of microwave exposure on the hamster immune system. I. Natural killer cell activity*. Bioelectromagnetics, 1983. **4**(2): p. 123-139 (K) (S).
935. Yao, K.T.S. and M.M. Jiles, *Effects of 2450 MHz microwave radiation on cultivated rat kangaroo cells*. Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation (S F Cleary, Ed), Proceedings of Medical College of Virginia Symposium, 1969. Richmond VA, Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Environmental Health Service, Bureau of Radiology., 1970: p. 123-133 (S) (C).
936. Yao, K.T.S., *Cytogenic consequences of microwave incubation of mammalian cells in culture*. Genetics, 1976. **83**: p. S84 (K) (S) (C).
937. Yao, K.T., *Microwave radiation-induced chromosomal aberrations in corneal epithelium of Chinese hamsters*. J. Hered, 1978. **69**: p. 409-412 (C).
938. Yao, K.T.S., *Cytogenetic consequences of microwave irradiation on mammalian cells incubated in vitro*. J Hered, 1982. **73**(2): p. 133-138 (K) (S) (C).
939. Zago, M., A. Palombo, and G. D'Inzeo, *A direct comparison between experimental and theoretical results of ligand-site binding in heme groups exposed to microwave fields*. Proceedings of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Italy, June 1997, F. Bersani, Ed ; Klumer Academic Publishers, 1999: p. (E).
940. Zalyubovskaya, N.P. and R.I. Kiselev, *Biological oxidation in cells under the influence of radiowaves in the millimeter range*. US Joint Pub Research Service Rep, 1978. **JPRS L/7957**: p. 5 (S).
941. Zook, B.C., *Radiofrequency irradiation of the brain of rats*. Presented at BEMS 20 th Annual Meeting, St Petersburg, Florida, June 1998, 1998: p. (S) (C).
942. Zook, B.C., *The carcinogenicity of RF radiation to the brain of rats*. Proceedings 11 th International Congress of Radiation Research. Dublin, Radiation Research Society, 1999, 1999: p. 280 (A) (S).

# **ANNEXES**

PARIS, le 15 juin 2000

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SANTÉ  
Le Directeur général  
Denis ZMIROU

Grenoble

CEDEX

Monsieur le docteur

Faculté de médecine de

Domaine de la Merci  
38706 LA TRONCHE

**Monsieur et Cher Confrère**

La Direction générale de la santé a pris connaissance du rapport relatif aux risques pour la santé liés à l'usage des téléphones mobiles et à leurs équipements, élaboré par un groupe d'experts britanniques présidé par Sir William STEWART à la demande des autorités britanniques et rendu public le 11 mai 2000.

Ce rapport dresse un bilan de l'état des connaissances actuelles en ce domaine et propose un certain nombre de recommandations tenant compte des incertitudes existantes.

Je souhaite réunir un groupe d'experts afin de :

- recueillir son avis scientifique sur ce rapport britannique, ainsi que sur les autres rapports récemment publiés sur cette question
- préciser les conséquences éventuelles que l'on doit en tirer, en termes de protection de la santé.
- faire des recommandations en matière de surveillance et de programmes de recherche sur les risques éventuels pour la santé liés à l'usage des téléphones portables et à leurs équipements
- proposer des recommandations en termes d'information du public.

Je vous prie de bien vouloir présider ce groupe d'experts, qui aura la composition suivante :

- M. Bernard VEYRET (directeur de recherche au CNRS, Ecole nationale de physique et de chimie de Bordeaux),
- Le docteur René de SEZE (membre de la Commission Internationale de protection contre les rayonnements non-ionisants),
- M. Pierre AUBINEAU (directeur de recherche au CNRS, Université Bordeaux 2)
- M. Alain BARDOU (directeur de recherche INSERM, université de Rennes I),
- Le professeur Marcel GOLDBERG (professeur d'épidémiologie, directeur de l'unité 88 de l'INSERM).

**Je souhaiterais que ce groupe d'experts puisse rendre son rapport à la fin de l'année 2000 et présenter un premier rapport d'étape portant notamment sur l'état des connaissances à la fin de l'été 2000.**

Je vous prie d'agréer, Monsieur et Cher Confrère l'expression de ma considération distinguée.

## **COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL**

- Pierre AUBINEAU (directeur de recherche au CNRS, Université de Bordeaux 2)
- Alain BARDOU (directeur de recherche, LTSI-INSERM, Université de Rennes 1)
- Marcel GOLDBERG (professeur d'épidémiologie, directeur de l'unité 88 de l'INSERM, Université de Paris 5)
- René de SEZE (membre de la Commission Internationale de protection contre les rayonnements non-ionisants, CHU de Nîmes)
- Bernard VEYRET (directeur de recherche au CNRS, Ecole nationale de physique et de chimie de Bordeaux)
- Denis ZMIROU (Faculté de médecine-Université de Grenoble 1, président d'honneur de la Société Française de Santé Publique), président du groupe d'experts
- Gilles DIXSAUT, médecin inspecteur de santé publique, a assuré le secrétariat général du groupe d'experts, au nom de la Direction générale de la santé .

## **Réunions du groupe de travail**

- 29 juin : définition du programme de travail et de la démarche générale
- 12 septembre : détermination du plan du rapport d'étape, sélection des rapports destinés à être critiqués, préparation des auditions (réunion téléphonique)
- 27 octobre : première séance d'auditions
- 9 novembre : discussion sur l'état d'avancement du rapport final (réunion téléphonique)
- 23 novembre : seconde séance d'auditions
- 8 décembre : discussion des recommandations en matière de gestion des risques
- 12 janvier 2001 : discussion d'ensemble sur la première version du rapport final

**ersonnes auditionNES ou sollicitées**

ADECEM Association de Défense contre les Champs Electromagnétiques (Présidente : Yvette Segala ; conseiller scientifique : M Le Ruz)

Jean-Marie Aran, Laboratoire d'audiologie expérimentale et clinique, INSERM Bordeaux

Prof. Madeleine Bastide, Laboratoire d'Immunologie et Parasitologie, Faculté de pharmacie, Université de Montpellier

Laurent Bontoux, Direction générale de la recherche, Union européenne

Prof. Pierre Buser, Coordonnateur du rapport de l'Académie des Sciences, Université Paris VI Pierre et Marie Curie, Institut des Neurosciences

Jean-Claude Carballes, ALCATEL CIT Recherches MMF

Elisabeth Cardis, responsable de l'étude épidémiologique internationale du Centre International de Recherche contre le Cancer, Lyon

Dr. George Carlo, ex Directeur de Wireless Technology Research, Washington

Jean-Pierre Chevillot, Ancien directeur de recherche au CNRS, consultant pour la réalisation du rapport ESSOR Europe présenté au parlement européen

Jacques Fourcade, président du CCPPRB de Nîmes

Philippe Hubert, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire

Dr. Philippe Quénel, Institut national de Veille Sanitaire

Michèle Rivasi, Députée de la Drome

Roger Santini, Laboratoire de biochimie pharmacologie, INSA de Lyon (invité, il a décliné l'invitation)

Dr Marc Séguinot, Direction générale SANCO, Union Européenne

UFC - Que Choisir ? (Gaëlle PATETTA et Carole MATRICON)

Jean-Paul Vautrin, Institut National de Recherche et de Sécurité

Joe Wiart, France Télécom R&D et comité IEBR de l'association GSM

## Présentation et interprétation des faits: un exercice critique délicat

*Les deux exemples suivants illustrent la difficulté de produire un avis scientifique consensuel. Deux articles publiés en 1999 sur le lien entre cancer du cerveau et exposition aux CEM-RF ont été commentés par, respectivement, 5 et 3 auteurs ou groupes d'experts. Les avis exprimés sont sensiblement différents. D'où l'importance, dans un exercice d'expertise, d'exposer clairement les critères adoptés pour retenir ou, au contraire, décliner les résultats d'un travail scientifique. L'analyse collective est ici particulièrement utile.*

***1- A propos de l'article*** *Hardell L Nasman A Pahlson A Hallquist A and Mild KH, 1999. Use of cellular telephones and the risk for brain tumors: a case-control study. International Journal of Oncology, 1999, 15, 113*

### **Rapport C Sage (oct 1999) :**

Hardell (1999) has reported increased risk of brain tumors in humans using cellular telephones. The main type of brain tumors found to occur were malignant glioblastomas and astrocytomas and non-malignant meningiomas and acoustical neuromas. An increased risk (although statistically insignificant) was found for malignant brain tumors on the same side of the head on which the cell phone was used for analog cell phones. The increased risk was 2.45-fold for right side use, and 2.40-fold for left side. GSM users did not have adequate use over time for there to be adequate evaluation of risk. No association between RFR and acoustical neuromas was reported.

### **Rapport Stewart (mai 2000)**

In a case-control study in Sweden, patients with brain tumors were asked about various aspects of their life including their use of mobile phones, and the findings were compared with those in controls selected from the general populations (Hardell et al 1999). Overall, the risk of brain tumors did not appear to be elevated in people who used mobile phones, either analogue or digital, even if their use was relatively heavy. In a series of subsidiary analyses, an association was observed between tumors in the temporal and occipital lobes of the brain and reported use of analogue phones on the same side of the head (regardless of whether that was to the left or right). However, this was not statistically significant, and could easily have occurred by chance. Interpretation of this study is complicated because it failed to identify a substantial number of brain tumor patients who were eligible for inclusions according to the reported entry criteria, and in the absence of an explanation for this under-ascertainment, it is unclear whether important bias could have resulted. Also, (...), an effect of exposure that was delayed for ten or more years would not have been apparent.

### **Rapport ARCS mai 2000**

Case reports of brain tumors in users of cellular phones initiated a case control study (Hardell et al 1999). Exposure was assessed by questionnaires supplemented over the phone. Use of cellular phones was not associated with increase in risk of tumors, neither overall nor for specified types. There was, however, a non significant association between tumors at a specific location at the side of the head, when also taking into account which side of the head the phone was normally used. This was found for NMT phone users, the number of cases for GSM users was too small for analysis. The authors caution, however, that this latter finding is based on a small number of cases, and that further investigations are necessary before any conclusions can be made. There has also been a substantial discussion about the apparent inconsistency in the study: no overall risk increase, but a risk increase at one location. The authors caution, however, that for GSM use the observation time may still be too short for definitive conclusions.

**Article de KR Foster et JE Moulder (IEEE Spectrum online, août 2000, vol 37, n°8)**

Other epidemiology studies have been mostly or entirely negative. In a study that received extensive press coverage even before it was published, Lennart Hardell and his colleagues at the Örebro Medical Centre in Örebro, Sweden, assessed mobile phone use by 209 Swedish brain tumor patients in comparison to 425 healthy controls. The study, funded by the Swedish Medical Research Council, was negative in virtually all respects.

In reporting the study, the lay media focused on one finding: users of mobile phones who had developed certain types of brain tumors were more likely to report having used the phone on the side of the head with the tumor than on the other side. But the association was weak. It was not statistically significant and might easily have been a result of recall bias--a well-established tendency of subjects to remember exposures to something more readily if they developed a disease. The brain cancer patients in Hardell's study knew their diagnosis before they were asked about their use of mobile phones.

**Article de synthèse Carlo (31 juillet 2000)**

(...). This finding [from a study by Muscat and coworkers, NDLR] of laterality was consistent with the observations of Hardell who, in a case control study conducted in Sweden, observed that tumors were more frequently found on the side of the head where the phone was used.

---

*2- A propos de l'article Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Cause-specific mortality in cellular telephone users. JAMA, 1999, 282:1814*

**Article de synthèse G Carlo (31 juillet 2000)**

Dreyer and colleagues (manuscript in preparation) completed the largest cohort study to date of analog cellular phone users and found an increase in the rate of brain cancer mortality in hand-held phone users (near field exposures) as compared with car phone users with the antenna on the rear window (far field exposures). The rate of brain cancer death was more than 3 times greater in the hand-held phone group compared with the far field control group; however, since the total number of persons in this group was small and the follow-up period was short (1 year), the difference was not statistically significant.

**Rapport Stewart (mai 2000)**

One investigation has examined mortality among customers of a large mobile phone operator in the USA (...). It covered some 250,000 phone users, who were followed for one year (...). Numbers of brain tumor and leukemia deaths were small and showed no substantial indication of increasing risk with number of minutes of hand-held phone use per day, or with years of hand-held phone use (Dreyer et al 1999). No data were reported on whether phones were analog or digital signals (...). Also, any increase in diseases such as cancer may not be manifest until many years after people are first exposed to a hazard. Therefore, although no significant differences in mortality were demonstrated between the two exposure groups, the conclusions that can be drawn from this report are limited, and it does not rule out important effects.

**Article de KR Foster et JE Moulder (IEEE Spectrum online, août 2000, vol 37, n°8)**

In 1996, (...), the health records of more than 250 000 mobile phone users were reviewed by Kenneth Rothman, a senior epidemiologist at Epidemiology Research Institute, in Newton Lower Falls, Mass. This industry-sponsored WTR study reported no difference in mortality between the users of hand-held portable phones, where the antenna is placed close to the head, and mobile cellular phones, where the antenna is mounted on the vehicle, resulting in lower RF exposure. In a later, follow-up study, the same investigators examined the causes of death among nearly 300,000 mobile phone users (including some from the previous study) in several U.S. cities. "The only category of cause of death for which there was an indication of increasing risk with increasing minutes of use," the investigators reported in

a November 1999 letter in the Journal of the American Medical Association, "was motor vehicle collisions".

## Liste de revues scientifiques sollicitées pour les articles les plus récents<sup>56</sup>

Adv Biol Med

Am J Epidemiol

Am J Ind Med

Am J Phys Med

Ann Biomed Eng

Ann NY Acad Sci

Ann NRPB<sup>R,A</sup>

Aviat Space Environ Med

Bioelectrochemistry and Bioenergetics

Bioelectromagnetics

Brain Res

Brain Res Bull

Cancer Causes Control

Cancer Res

Cancer J

Carcinogenesis

Electro Magnetobiology

Environ Health Persp

Environ Molec Mutagen

Environ Molec Mutagen

Environ Mutagen

Environ Res

Epidemiology<sup>R</sup>

Experimentia  
Exp Neurol<sup>R</sup>

Eur J Appl Physiol

Eur J Med Res

Eur J Morphol

Genetics

Health Phys<sup>R</sup>

IEEE Eng Med Biol Mag<sup>R</sup>

Indoor Air

Int J Cancer

Int J Epidemiol

International Journal of Oncology

International Journal of Radiation Biology<sup>R,A</sup>

IRE Trans Biomed Electron

J Acoust Soc Am

J Bioelectric

J HeredR

J ImmunolR

J Microwave Power<sup>R</sup>

J Natl Cancer Inst

J Neurochem<sup>R</sup>

J Occup Med

J Surg Oncol

Lancet

Med J Aust

Microscopy Research and Technique

Mutation Research<sup>R</sup>

NATO ASI Series A: Life Sciences

Nature

Neuropsychobiology

Surg Neurol

N Engl J Med<sup>R</sup>

Occupational Medicine

Pacing Clin Electrophysiol<sup>R</sup>

Pharmacol Biochem Behaviour<sup>R</sup>

Physica Medica

Physiol Chem Phys Med NM<sup>R</sup>

Phys Med Biol

Proc Natl Acad Sci

Radiat Environ Biophys

Radiation Research.

Radiat Sci

Radiology<sup>R</sup>

Radio Sci<sup>R</sup>

Rev Environ Health<sup>R</sup>

Science

Sci Total Environ

Teratology

---

<sup>56</sup> Revues ayant répondu (R) et ayant communiqué des articles récents (A)



## DESCRIPTION DES DOCUMENTS ETUDIÉS

### A - Rapports de base

<b>Auteurs</b>	<b>Titre</b>	<b>Origine</b>	<b>Date</b>	<b>N références indexées</b>
ARCS Austrian Research Center Seibersdorf	Report on RF bioeffects	Autriche	2000	304
DGXIII Commission Européenne COST 244bis	Possible health effects related to the use of radiotelephones	Union Européenne	1999	144
Rapport Mc KINLAY DGXII European Commission expert group	Possible health effects related to the use of radiotelephones	Union Européenne	1996	252
La Société Royale du Canada	A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices	Canada	1999	471
Sir William STEWART	Mobile phones and health	Grande Bretagne	2000	436

## **B - Documents additionnels**

		<b>Origine</b>	<b>Date</b>	<b>N références indexées</b>
Académie des Sciences-CADAS	Communication mobile ; effets biologiques	France	2000	387
ESSOR Europe	Effets physiologiques et environnementaux des champs électromagnétiques		2000	SO*
SAGE C	Telecommunication inquiry committee. The Scottish Parliament	Ecosse	1999	42
Rapport COMAR	Committee on Man and Radiation de l'IEEE	Etats Unis	2000	SO*
Rapport Suède	<i>Synthèse sur les champs électromagnétiques et la santé</i>	Suède	2000	ND*
ELWOOD M	A critical evaluation of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers	Nouvelle Zélande	1999	69

\* ND : non déterminé car le texte analysé est la synthèse en anglais, sans bibliographie ; SO : sans objet car le rapport n'est pas une critique d'articles

## Glossaire, sigles et abréviations

Sigle	Unité	Quantité
$A.m^{-1}$ ou A/m	ampère par mètre	H champ magnétique
°C	degré Celsius	T température
G	gauss : unité ancienne, remplacée par le tesla (1 tesla = 10 000 G)	B induction magnétique
GHz	gigahertz	f ou $\nu$ fréquence
Hz	hertz	f ou $\nu$ fréquence
kHz	kilohertz	f ou $\nu$ fréquence
m	mètre	L longueur
MHz	mégahertz	f ou $\nu$ fréquence
mn	minute	T temps
$mW/cm^2$	milliwatt par centimètre carré	DSP densité surfacique de puissance
$\mu m$	micromètre	L longueur
$\mu s$	microseconde	T Temps
nT	nanotesla	B induction magnétique
nV/m	nanovolt par mètre	E champ électrique
T	tesla	B induction magnétique
V	volt	U tension ou potentiel
V/m	volt par mètre	E champ électrique
$W.kg^{-1}$ ou W/kg	watt par kilogramme	DAS débit d'absorption spécifique (en anglais : "Specific Absorption Rate")
$W.m^{-2}$ ou $W/m^2$	watt par mètre carré	DSP densité surfacique de puissance

**Tableau 4. Unités, sigles et quantités correspondantes**

<b>Sigle</b>	<b>Quantité</b>	<b>Unité ou valeur (en Unités du Système International : USI)</b>	
B	induction magnétique, communément appelée "champ magnétique"	T	tesla
DAS	débit d'absorption spécifique (en anglais : "Specific Absorption Rate")	W/kg	watt par kilogramme
E	champ électrique, ou énergie	V/m, ou J	Volt par mètre, ou joule
F	fréquence	Hz	Hertz
$\lambda$	longueur d'onde	m	Mètre
SAR	Voir DAS		

**Tableau 5. Quantités, désignations et unités**

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>	<b>Définition</b>
ACTH	Adreno CorticoTropic Hormone	Hormone corticosurrénale (dite hormone du stress)
AM	Amplitude Modulation	Emission codée par modulation d'amplitude
Ca <sup>++</sup> ou Ca <sup>2+</sup>	ion calcium	
CEM	champ(s) électromagnétique(s)	
CW	émission continue (de l'anglais "Continuous Wave")	une émission peut être continue (CW) ou pulsée (PW)
EBF ou ELF	Extrêmement Basse(s) Fréquence(s) (en anglais Extremely Low Frequency)	Fréquences comprises entre 0 et 300 Hz, comprenant principalement la fréquence industrielle et domestique, 50 Hz en Europe et 60 Hz en Amérique du Nord
ELF	Voir EBF	
FM	Frequency Modulation	Emission codée par modulation de la fréquence
ICNIRP	International Commission on Non Ionizing Radiation Protection	Commission de référence pour l'établissement des normes sur les rayonnements non ionisants
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique	Technique d'imagerie médicale utilisant le principe physique de résonance magnétique nucléaire
PW	émission par impulsions (de l'anglais "Pulsed Wave")	une émission peut être continue (CW) ou pulsée (PW)
RF	RadioFréquence	

**Tableau 6. Abréviations, signification et définitions**

## Sites internet sur les RF

### France

Commission de la Sécurité des Consommateurs :

<http://www.cscnet.org/>

Programme de recherche français COMOBIO dans le cadre du RNRT :

<http://tsi.enst.fr:80/comobio/>

### Europe

Conseil Supérieur d'Hygiène, Belgique

[http://www.health.fgov.be/CSH\\_HGR/Francais/Brochures/De%20GSMeindversiefr1.html](http://www.health.fgov.be/CSH_HGR/Francais/Brochures/De%20GSMeindversiefr1.html)

National Radiological Protection Board, Grande Bretagne

<http://www.nrpb.org.uk/>

Independent Expert Group on Mobile Phones (rapport Stewart), Grande Bretagne

<http://www.iegmp.org.uk/>

Fondation Elettra 2000, Italie

<https://www.elettra2000.it/elettra2000/default.htm>

Forschungsgemeinschaft Funk e.V., Research Association for Radio Applications, Allemagne

<http://www.fgf.de/>

Research Center for the Environmental Compatibility of Electro-Magnetic Fields

(Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit), Aachen, Allemagne

<http://www.femu.de/>

COST 244bis : Effets biomédicaux des champs électromagnétiques :

<http://www.radio.fer.hr/cost244/main/mainpage.htm>

European Bioelectromagnetics Association :

<http://www.ebea.org/>

### USA

Federal Communications Commission :

<http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/>

Food and Drug Administration :

<http://www.fda.gov/>

Medical College of Wisconsin

“ Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health ”  
<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>

IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Coordinating Committee 28  
Non-ionizing Electromagnetic Energy Safety Standards to 300GHz  
<http://grouper.IEEE.org/groups/scc28/>

## **International**

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) :  
<http://www.icnirp.de/>

OMS, Genève, projet EMF :  
<http://www.who.int/peh-emf/>

Bioelectromagnetics Society :  
<http://bioelectromagnetics.org/>

**REFERENCES DE LA CONTRIBUTION DE Ph. HUBERT** (auditions du 23 novembre)

[BEIR 1990] BEIR Committee, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiations. NRC National Academy of Sciences. Washington 1990.

[CARDIS 1994] Cardis E., Gilbert E.S., Carpenter L., Howe G., Kato I., Armstrong B.K., Beral V., Cowper G., Douglas A., Fix J., Fry S.A., Kaldor J., Lavé C., Salmon L., Smith P.G., Voelz G.L., Wiggs L.D. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiat. Res.* 1995;142:117-132.

[CE 1996] Commission Européenne. Conférence permanente sur la santé et la sécurité à l'ère nucléaire. Troisième réunion. Informer le public sur les normes européennes de radioprotection. Luxembourg 26-27 novembre 1996. Direction générale Environnement Sécurité, Nucléaire et Protection Civile. Luxembourg 1996.

[CFS 1991] Conseil Fédéral Suisse. Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM<sup>o</sup>. Conseil Fédéral Suisse. 27 Février 1991

[CIPR 1958] International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the ICRP. Adopted September 9, 1958. Pergamon Press 1959.

[CIPR 1977] International Commission on Radiological Protection (ICRP). "1977 Recommendations". (ICRP Publication 26) Ann. ICRP. 1 (1). Oxford : Pergamon Press. 1977.

[CIPR 1991] International Commission on Radiological Protection (ICRP). "1990 Recommendations". (ICRP Publication 60) Ann. ICRP. 21 (1/3). Oxford : Pergamon Press. 1991.

[CIPR 1994] International Commission on Radiological Protection (ICRP). "Protection against Radon 222 at home and at work, ICRP Publication 65, Ann. ICRP 23/2, Oxford Pergamon Press, 1994.

[CIPR 1995] International Commission on Radiological Protection (ICRP) "Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency", ICRP Publication 63, Ann. ICRP 22/4, Oxford Pergamon press, 1995.

[HOWE 1995] Howe G. R., Mac Laughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with lung cancer mortality in the atomic bomb survivor study. *Radiat. Res.* 1995;142:295-304.

[HOWE 1996] Howe G.R. Lung cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivor study. *Radiat. Res.* 1996;145:694-707.

[HSE 1989] Health and Safety Executive. Quantified Risk Assessment. Its input to decision making. Her Majesty Stationary Office. Londres 1989

[HUBERT 1990] Hubert Ph. Comparison of the methodologies for risk management ; applied comparison of optimisation to nuclear and non-nuclear activities. Final contract report. EEC-DGXII B 16-020 F , CEPN report 171, Paris 1990.

- [HUBERT 1993] .Hubert Ph.. The Regulatory Assessment of New Risk Management Practices, .Proceedings from OECD NEA workshop. Radiation Protection towards the turn of the century. Paris 11-13 Janvier 1993. OECD Paris 1993
- [HUBERT 1994] Hubert Ph. Mangement of Radiation Risks. Document introductif à la conférence Comprehending Radiation Risks, AIEA-IPSN, Paris 1994.
- [KUIJEN 1988] Van Kuijen C.J. Risk Managemnt in the Netherlands : a quantitative approach. Proceedings two Safe technological systems meeting at IIASA May 11-12 1988. Laxenburg Austria.
- Risques n°29, pp 89-100, Janvier mars 1997.
- LUBIN 1997] Lubin J.H., Boice J.D. Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of height epidemiologic studies. J Natl Cancer Inst. 1997;89(1):49-57.
- [MASSUELLE 1996] Comparaison des politiques radon au niveau international. Note IPSNDPHD SEGR, 1996.
- [MUIRHEAD 1989] Muirhead C.R., G.W.Kneale. Prenatal irradiation irradiation and childhood cancer. J. Radiol. Prot. 9:pp209 212, 1989
- [NCI 1994] National Cancer Institute. Radon and lung cancer risk. A joint analysis of 11 underground miners studies. NIH publication 94-3644, 1994.
- [NORSTEDT 1929] Second international recommendations for X Ray and Radium protection. P.A. Norstedt & Söner. Stocholm 1929.
- [PIERCE 1996] Pierce D.A., Shimizu Y., Preston A.L., Vaeth M., Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. Radiat. Res. 1996;146:1-27.
- [SHORE 1992] Shore R.E. Issues and epidemiological evidences regarding radiation induced thyroid cancer. Radiation Research, Vol 131, pp 98-11, 1992.
- [SHORE 1993] Shore R.E., N.Hildreth, Ph.Dvoretsky, E.Andresen, M.Moreson, B.Pastenack. Thyroid cancer among persons given X-Ray treatment for enlarged Thymus gland. Amer. J. of Epidemiology, vol 137, n°10, 1993.
- [UNSCEAR 1988] UNSCEAR Sources, effects and risks of ionizing radiations United Nations 1988
- [UNSCEAR 1994] UNSCEAR Epidemiological studies of radiation carcinogenesis Unites Nations 1994

## PRESENTATION DES MEMBRES DU GROUPE D'EXPERTS

- Pierre AUBINEAU est Docteur en Neurophysiologie et Docteur ès Sciences en Biologie. Directeur de Recherche au Centre National de la Recherche Scientifique, il a travaillé successivement au sein de l'Université Paris VI, du White Memorial Center (Los Angeles) puis de l'Université Bordeaux II sur la physiopathologie de la circulation sanguine cérébrale et sur l'incidence dans ce domaine des interactions neuro-immunitaires. Il est actuellement membre du Comité Directeur, chargé des recherches sur l'animal, du programme national COMOBIO (Communications mobiles et Biologie) et participe à ce programme en étudiant avec son équipe l'influence des ondes GSM sur les vaisseaux sanguins intra-crâniens et la migraine.
- Alain BARDOU est Directeur de Recherche à l'INSERM, spécialiste du Génie Biologique et Médical plus particulièrement adapté au domaine de la Cardiologie. Il a effectué deux ans de recherche aux Etats-Unis au Downstate Medical Center à New-York et au Cardio-Vascular Research Institute à San Francisco. Il est membre de la New-York Academy of Sciences, de l'IEEE/Ingénierie en Médecine et Biologie, de l'American Heart Association, de la Société Française de Réanimation Cardiaque, de la Société Française de Biologie Théorique. Il est l'auteur de plus d'une centaine de publications scientifiques et de chapitres de livres et son activité lui a valu d'être promu à l'ordre International du Mérite à Cambridge en 1994 pour "Contribution à la Cardiologie et à la Santé Publique". Il a été pendant les années 1994-2000 le représentant statutaire de l'INSERM à la Commission de Sécurité des Consommateurs ce qui l'a conduit à gérer pendant six ans de nombreux dossiers directement liés à la santé publique.
- Gilles DIXSAUT est Docteur en Médecine, diplômé d'étude et de recherche en biologie humaine. Médecin inspecteur en chef de santé publique, il a en charge le domaine des rayonnements non ionisants à la Direction générale de la santé. Il est chargé de cours à l'Université Paris Nord et président de la commission santé biométéorologie de Conseil Supérieur de la Météorologie.
- Marcel GOLDBERG est Docteur en Médecine, Docteur en Mathématiques Appliquées, Docteur en Biologie Humaine. Professeur des Universités en Biostatistiques-Informatique médicale (UFR Paris-Ouest), il est responsable du Département Santé Travail de l'Institut de Veille Sanitaire et Directeur de l'Unité 88 de l'INSERM. Il préside le Conseil scientifique du programme "Environnement Santé" du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Il est membre du comité scientifique en matière de limites d'expositions professionnelles aux agents chimiques de la Commission Européenne (DG V). Il est ancien Président de l'Association des Epidémiologistes de Langue Française (ADELF), et du Collège des enseignants en Informatique Médicale, Epidémiologie et Statistique.
- René de SEZE est titulaire du DEA "Instrumentation et mesure" et d'un Doctorat d'Université en Sciences de la Vie, sur les effets des micro-ondes sur le système immunitaire de la souris. Spécialiste en radiologie, il a été Assistant Hospitalo-Universitaire au CHU de Nîmes dans le Service de Médecine Nucléaire et Biophysique Médicale du Professeur Miro, et est actuellement Médecin Attaché en Biophysique Médicale et en Radiologie. Directeur de Recherches à la Faculté de Médecine, son principal sujet de recherche est l'étude des effets sur la santé des radiotéléphones cellulaires. René de Seze est membre du bureau de la section Rayonnements Non Ionisants de la Société Française de Radioprotection (SFRP/RNI), secrétaire de l'Association Européenne de Bioélectromagnétisme (EBEA), membre de la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (ICNIRP) et membre de la Société de BioElectroMagnétisme (BEMS).
- Bernard VEYRET est ingénieur physicien ESPCI, Docteur ès Sciences, directeur de recherche CNRS au laboratoire de Physique des Interactions Ondes-Matières, à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie et de Physique de Bordeaux. Il est directeur du Laboratoire de Bioélectromagnétisme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Il effectue des recherches sur les effets biologiques des champs électromagnétiques depuis 1985. Il est membre de la

Commission de l'ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radio Protection) et du comité scientifique d'Elettra 2000. Il est responsable scientifique des projets français COMOBIO et européen PERFORM B sur les effets sanitaires éventuels des téléphones mobiles.

- Denis ZMIROU est Docteur en Médecine, Docteur ès Sciences. Enseignant-chercheur à l'Université Joseph Fourier (Grenoble 1), il est membre du Haut Comité de Santé Publique et du Comité de la Précaution et de la Prévention. Il a présidé pendant 5 ans la Société Française de Santé Publique. Il est auteur ou co-auteur de plus d'une centaine d'articles et d'ouvrages collectifs scientifiques ou de vulgarisation dans le domaine de la santé publique et de l'évaluation des risques liés à l'environnement. Il travaille depuis 1999 au sein du Département Santé-Environnement de l'Institut de Veille Sanitaire.