

# **ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer**

## **Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation**

Les champs électromagnétiques EBF (extrêmement  
basses fréquences) et le risque de cancer

Rapport du groupe de travail sur  
les rayonnements non-ionisants

Résumés et conclusions

National Radiological Protection Board  
Mars 2001

# INTRODUCTION

**1.** En raison des activités industrielles modernes, la population est de plus en plus exposée à diverses sources de champs électriques et magnétiques et de rayonnements qui couvrent une large gamme de fréquences. Les principales sources d'exposition aux champs électromagnétiques (CEM) proviennent des installations de production et de transport d'électricité, et de son utilisation au domicile et au travail, ainsi que des télécommunications et des émissions radio et télé. De plus, les appareils électroniques de communication, de sécurité et de surveillance ont connu une grande diffusion dans les industries, les bureaux, les maisons, les voitures et dans l'environnement.

**2.** Le National Radiological Protection Board (NRPB) est chargé de conseiller les ministères du gouvernement anglais sur les normes de protection pour l'exposition aux rayonnements non ionisants. Ceci couvre les champs électriques et magnétiques statiques et de basse fréquence, les radiofréquences (micro-ondes inclus), ainsi que les rayonnements optiques (ultraviolets inclus). Le spectre électromagnétique figure en annexe et les gammes de fréquences pour les différentes sources sont résumées dans le tableau 1.

**3.** Afin de développer les capacités de conseil du NRPB sur les rayonnements non ionisants, un groupe de travail sur les rayonnements non ionisants a été créé en 1990. Les missions du groupe de travail sont :

**« d'examiner les travaux sur les effets biologiques des rayonnements non ionisants se rapportant à la santé de l'homme et de proposer les axes de recherches prioritaires. »**

**4.** Le groupe de travail a été transformé en 1999 en un groupe indépendant et qui à présent rend compte directement au Bureau du NRPB. Le groupe de travail a publié à ce jour cinq rapports (NRPB, 1992,1993,1994a,b, 1995). Le premier rapport, sur « les champs électromagnétiques et les risques de cancer » a été publié en mars 1992 (NRPB, 1992).

**5.** Ce rapport a examiné de façon globale les études expérimentales et épidémiologiques concernant les effets de l'exposition aux champs électromagnétiques

statiques et alternatifs. Des informations sur les niveaux habituels d'exposition dans les environnements résidentiels et sur le lieu de travail ont été données. Les preuves expérimentales examinées ont fortement suggéré que ces champs ne nuisent pas au matériel génétique et ne devraient donc pas être des agents initiateurs de cancer. Cependant, la possibilité qu'ils agissent en tant que promoteurs de tumeurs ne peut pas être écartée ; en effet, ils pourraient augmenter la croissance de cellules malignes potentielles. Pris dans leur ensemble, les résultats des études expérimentales n'étaient cependant pas concluants. On ne pouvait pas conclure que les effets des champs électromagnétiques sur les cellules et les tissus soient considérés comme potentiellement cancérigènes pour l'homme.

**6.** Les études épidémiologiques qui ont été examinées, faisaient référence aux expositions résidentielles et professionnelles. Bien que des études aient montré que l'incidence de la leucémie pouvait être influencée par les champs magnétiques, une revue de toutes les données a montré que l'excès rapporté pouvait venir de la sélection des publications et du choix inapproprié des témoins. La seule conclusion épidémiologique notable était la constance, avec laquelle une association possible entre les champs électromagnétiques et un risque accru de tumeurs cérébrales était mise en évidence mais de façon très faible. Ceci a été rapporté dans des études résidentielles sur les enfants et dans des études professionnelles. Comme les tumeurs cérébrales de l'enfance et de l'adulte ont des origines différentes, provenant de types histologiques différents, ce résultat a été considéré comme étant moins probant qu'il ne le paraissait. S'agissant des tumeurs de l'enfant en exposition résidentielle, la méthodologie n'était pas exempte de défauts : les résultats positifs pouvaient être des artefacts dus à la méthode choisie. Pour les tumeurs cérébrales observées dans les études professionnelles, il était impossible de trancher sur l'origine du risque, s'il existait, qui pouvait être dû à une exposition aux champs électromagnétiques ou à des produits chimiques utilisés au cours du travail.

**7.** En l'absence de preuve expérimentale claire suggérant que l'exposition à ces champs électromagnétiques pouvait être cancérigène, le groupe de travail a conclu que les résultats des études épidémiologiques, qu'il avait examinés, pouvaient seulement être considérés comme suffisants pour formuler des hypothèses, à tester dans de futures études. Ils n'ont pas fourni de preuve ferme d'un risque cancérigène pour les enfants et les adultes dû à

une exposition à des niveaux habituels de champs électromagnétique de fréquence industrielle (50-60 Hz).

**8.** Le groupe de travail a aussi fait un certain nombre de recommandations pour les travaux à venir. Il a insisté sur le fait que les études expérimentales auraient un rôle important à jouer dans la résolution des incertitudes sur l'association possible entre les champs électromagnétiques et la carcinogenèse. Il a aussi affirmé le besoin d'autres études épidémiologiques. En ce qui concerne les expositions professionnelles, il a été considéré que le besoin immédiat était d'améliorer la caractérisation des expositions sur les lieux de travail ainsi que d'évaluer le nombre de travailleurs susceptibles d'être exposés à différents niveaux et pour des durées différentes. Le groupe de travail a aussi conclu qu'il était important de mener une étude épidémiologique à grande échelle dans le cas du cancer chez les enfants, en partie parce que les évaluations des expositions pendant la vie peuvent être plus facilement conduites chez les enfants que chez les adultes.

**9.** Suite à la publication du premier rapport du groupe de travail, plusieurs autres études épidémiologiques ont été publiées concernant les expositions résidentielles et professionnelles aux champs électromagnétiques. Le groupe a publié des rapports supplémentaires en mai 1993 et avril 1994, donnant son point de vue sur ces nouvelles études et sur les résultats de recherches expérimentales plus récentes (NRPB, 1993, 1994).

**10.** En ce qui concerne les études professionnelles, le groupe de travail a conclu (NRPB, 1994) que quatre études professionnelles ont renforcé la possibilité que des groupes de travailleurs, dont l'exposition aux champs électromagnétiques était particulièrement élevée, avaient un risque augmenté pour les leucémies, mais pas pour les tumeurs cérébrales. Cependant les résultats de ces études n'étaient cohérents ni pour le type de leucémie pour lequel on retrouvait un risque accru, ni quant à l'existence d'une relation entre exposition et risque de cancer.

**11.** Trois études résidentielles sur les cancers de l'enfant réalisées en Scandinavie ont aussi été étudiées. Il a été conclu que les études plus récentes étaient bien contrôlées et beaucoup plus informatives que les précédentes étudiant une association avec les cancers de

l'enfant. Ces études n'établissaient pas que l'exposition aux champs magnétiques était une cause de cancer, cependant, prises dans leur ensemble, elles suggéraient qu'une possibilité existait dans le cas des leucémies de l'enfant. Toutefois, dans ces trois études, le nombre d'enfants affectés était très faible.

**12.** Le groupe de travail a aussi examiné les études expérimentales mais celles-ci n'ont pas réussi à établir un quelconque mécanisme biologique par lequel les processus cancérogènes pouvaient être influencés par l'exposition à de faibles niveaux de champs magnétiques, auxquels une grande partie de la population est exposée.

**13.** Le groupe de travail a conclu qu'« il n'y avait pas de preuve biologique convaincante pour que les champs électromagnétiques puissent influencer une des étapes connues de la carcinogenèse. Il n'y a pas de base claire pour une évaluation significative du risque, ni d'indication pour savoir comment le risque potentiel pourrait varier avec l'exposition » (NRPB, 1994).

**14.** Il y a maintenant neuf ans que le groupe de travail a publié son premier rapport (NRPB, 1992). Depuis, la plupart des travaux expérimentaux qui avaient commencé à cette période sont terminés. Des études épidémiologiques professionnelles et résidentielles importantes ont été publiées, certaines ont bénéficié des meilleures méthodes d'évaluation de l'exposition et d'une meilleure méthodologie. De plus, de nombreuses expertises collectives sur les effets sur la santé liés à l'exposition aux champs magnétiques ont été publiées (ORAU, 1992 ; NRC, 1997 ; NIEHS, 1998). Le groupe de travail a, pour cette raison, pensé qu'il était temps d'entreprendre une revue plus complète sur les études expérimentales et épidémiologiques, qui ont été menées depuis la parution de son premier rapport.

**15.** Le rapport actuel concerne plus particulièrement le risque possible de cancer provenant d'une exposition aux champs électromagnétiques de fréquence industrielle (50 Hz en Grande-Bretagne). Il ne concerne pas les expositions aux hautes fréquences. Des études ont suggéré des associations avec des maladies, telles que la maladie d'Alzheimer ou d'autres troubles neurologiques. Ces observations posent des hypothèses qui requièrent d'être examinées par des recherches supplémentaires et ne peuvent être prises en compte isolément.

**16.** Il y a un intérêt croissant pour les effets possibles sur la santé liés à l'exposition aux rayonnements hautes fréquences venant des téléphones portables et de leurs stations de base. Le groupe de travail suit également de très près les études expérimentales et épidémiologiques relatives aux expositions aux radiofréquences et produira un rapport en temps opportun. Le groupe de travail note la publication par un groupe d'experts indépendants d'un rapport sur les téléphones portables et la santé (IEGMP, 2000).

**17.** L'une des limites des études épidémiologiques publiées avant le rapport de 1992, était le peu d'informations disponibles sur les expositions personnelles. Dans les études résidentielles, le « code de câblage » était souvent utilisé comme substitut pour les expositions individuelles, malgré les limitations de cette approche et la possibilité de confusion. Ces neuf dernières années, des avancées considérables ont été faites qui permettent maintenant des améliorations substantielles dans la mesure de l'exposition au travail et à la maison. Le chapitre 2 présente les méthodes utilisées pour évaluer l'exposition dans les études épidémiologiques et commente leurs forces et leurs faiblesses. Il donne aussi des informations représentatives sur les expositions de différentes sources, incluant les lignes de transmission à haute tension, les lignes de distribution, les câbles et l'équipement industriel.

**18.** Les études cellulaires ont joué un rôle très important dans les premières identifications des produits chimiques et autres agents auxquels les humains peuvent être exposés et qui peuvent intervenir dans la genèse des cancers. Le chapitre 3 de ce rapport étudie la preuve expérimentale fournie par les récentes études moléculaires et cellulaires sur la capacité des champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence à agir soit comme initiateur soit comme promoteur tumoral. Une attention particulière est accordée aux données concernant la capacité de transformation, la génotoxicité, la mutation et les dommages sur l'ADN comme indicateurs d'initiation et les tests d'activité de promotion incluant la prolifération cellulaire accrue, la perturbation du cycle cellulaire, l'interférence avec les effets des signaux intracellulaires sur l'expression génique et les anomalies de l'apoptose (mort cellulaire programmée).

**19.** Dans le chapitre 4 sont exposés les résultats d'un grand nombre d'études animales sur les effets possibles de l'exposition aux champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence sur les processus de carcinogenèse publiés depuis le rapport de 1992. En particulier, sont pris en compte de nombreuses études à moyen et à long terme qui ont recherché un effet sur l'incidence des tumeurs chez les animaux exposés aux seuls champs électromagnétiques ou combinant l'introduction de carcinogènes connus ou de promoteurs de tumeurs. Les principales sortes de tumeurs examinées incluent la leucémie, les lymphomes, et les tumeurs de la peau et du sein chimiquement induites. De plus, les données sur les effets inhibiteurs éventuels des champs électromagnétiques sur les taux de mélatonine dans le sang, neurohormone qui pourrait être impliquée dans le développement de tumeurs du sein voire dans d'autres processus, est discuté. Enfin, le rôle possible de l'exposition aux champs électromagnétiques sur le développement des tumeurs par le biais une altération du système immunitaire est explorée.

**20.** Beaucoup des techniques d'évaluation des expositions recensées dans le chapitre 2 ont été utilisées dans les études épidémiologiques récentes sur l'exposition professionnelle et résidentielle aux champs électriques et magnétiques. Les études résidentielles publiées depuis le rapport de 1992 sont revues au chapitre 5. En particulier, il y est décrit quatre études publiées en Scandinavie et des études cas-témoins sur les cancers de l'enfant menées en Grande Bretagne, en Amérique du Nord et au Canada. En Grande Bretagne, la Childhood Cancer Study a examiné un grand nombre de causes possibles des cancers de l'enfant, en incluant l'exposition aux rayonnements ionisants, les risques possibles liés aux produits chimiques, les infections et les champs électriques et magnétiques. L'étude sur les champs magnétiques a été effectuée en deux temps ; la seconde phase incluant des mesures dans les maisons pendant 48 h (UKCCS, 1999). De plus, une autre étude a examiné l'incidence du cancer de l'enfant en fonction de la distance au réseau de distribution d'électricité (UKCCS, 2000). Le National Cancer Institute et le Children's Cancer Group ont étudié des enfants présentant une leucémie lymphoblastique aiguë dans 11 états des Etats-Unis (Linnet et al, 1997). L'exposition aux champs électromagnétiques a été mesurée pendant 24h au domicile actuel et antérieur ; dans le même temps, le code de câblage était aussi évalué pour comparaison avec les études antérieures. Des informations ont aussi été rassemblées sur le radon, sur la radioactivité naturelle et l'utilisation de pesticides. Au Canada, une étude cas-témoins des enfants atteints de leucémie, a pris en compte les enfants chez lesquels la maladie

avait été diagnostiquée entre 1990 et 1995 (Mc Bride et al, 1999). L'évaluation de l'exposition incluait des mesures personnelles de 48 h du champ électromagnétique, l'évaluation du code de câblage (la proximité des lignes électriques) et les mesures du champ magnétique au domicile depuis la conception jusqu'au diagnostic pour les cas(ou la date de référence pour les contrôles). Ces études résidentielles ont récemment fait l'objet d'analyses conjointes par Ahlbom et al (2000) et Greenland et al (2000).

**21.** Le chapitre 6 fait référence aux récentes études épidémiologiques en exposition professionnelle. Depuis 1992, les études régionales ou nationales des sujets travaillant dans les industries électriques ou électroniques se sont orientées vers des études de cohorte de groupes industriels producteurs d'électricité, ainsi que dans des industries importantes utilisatrices d'électricité. Les études récentes sont caractérisées par des efforts pour travailler sur des populations importantes, pour améliorer la précision des mesures d'expositions sur le lieu de travail en utilisant des dosimètres personnels, et pour évaluer les expositions rétrospectives.

**22.** Les principales conclusions du groupe de travail figurent au chapitre 7 et les recommandations de recherche au chapitre 8.

# LES ETUDES CELLULAIRES RECENTES SUR LA CARCINOGENESE

## Résumé

**64.** Aucune preuve ne montre que les champs électromagnétiques peuvent directement provoquer la transformation des cellules en culture. Un certain nombre d'éléments positifs montrent que les champs électromagnétiques peuvent affecter les réponses cellulaires, qui sont habituellement considérées comme des preuves de génotoxicité, mais il existe beaucoup plus d'études négatives de bonne qualité scientifique. Il y a peu de chance pour que les mécanismes démontrés de la génotoxicité directe aient des effets majeurs, et des études futures dans ce domaine devraient chercher à déterminer si les champs électromagnétiques peuvent modifier ou non les effets des agents carcinogènes connus. De nouveaux éléments apparaissent qui tendraient à supporter l'hypothèse d'un tel mécanisme.

**65.** En considérant les effets sur les événements cellulaires qui pourraient affecter le processus de carcinogenèse, quelques données en faveur d'un effet proviennent d'études des modifications des niveaux du calcium intracellulaire suivant l'exposition à un champ électromagnétique. Même ici, les résultats sont contradictoires mais les hypothèses que l'état biologique particulier des cellules et les conditions d'exposition sont cruciales pour déterminer si un effet quelconque des CEM peut être détecté nécessitent d'autres études.

**66.** Des rapports concernent une augmentation de l'apoptose, qui même si elle venait à être démontrée, serait peu susceptible d'avoir une incidence sur la progression du cancer, alors que des rapports sur la stimulation cellulaire ne montrent pas d'effet précis.

**67.** Les effets des champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence sur les signaux transmembranaires, autres que le calcium sont aussi évoqués mais nécessitent des recherches supplémentaires.

**68.** Plusieurs rapports portent sur les effets sur l'expression génique générale et/ou spécifique ; si beaucoup d'entre eux peuvent être critiqués pour leurs défauts méthodologiques, d'autres paraissent de meilleure qualité, et pourraient être une base pour poursuivre les études dans ce domaine. Compte tenu de tous les domaines pris en compte dans ce chapitre, une des difficultés majeures pour assurer des conclusions fermes est la diversité des systèmes de tests utilisés. Pour réduire le degré d'incertitude dans ce domaine, des études ultérieures doivent confirmer les résultats de celles qui indiquent des effets. A moins que ces résultats ne soient assez solides pour être répliqués par d'autres chercheurs, il n'est pas possible de les utiliser comme base pour des études plus compliquées et coûteuses.

**69.** En conclusion, il est bon de citer quelques points du résumé du rapport NIEHS (1998) concernant les effets in vitro : « il n'y a pas de polémique sur les bases théoriques et les preuves expérimentales pour les effets biologiques à des densités de flux magnétique supérieures à 0.1 mT ou à des intensités de champ électrique interne supérieures à environ  $0.1 \text{ mVm}^{-1}$ . De même, il y a un accord général sur le manque de modèles théoriques et de preuves expérimentales pour les effets des densités de flux magnétique de moins de  $0.1 \mu\text{T}$  ; les modèles théoriques pour les effets à des densités inférieures à 0.1mT et en particulier à moins de  $5 \mu\text{T}$  prêtent à controverse. »

**70.** Le rapport poursuit en suggérant que dans l'évaluation des résultats des études sur les champs électromagnétiques, trois points particuliers doivent être soulignés : les résultats ont-ils été validés indépendamment ? il y a-t-il un mécanisme physique prouvé pour les densités de champs utilisées ? les effets étudiés sont-ils considérés comme prédictifs d'effets potentiels sur la santé ? Cependant, la conclusion finale est qu'il y a « un nombre limité d'études bien conduites qui apportent des preuves modestes pour des mécanismes plausibles des effets des champs électromagnétiques supérieurs à 0.1mT in vitro pour les effets étudiés considérés habituellement comme reflétant l'activité des agents toxiques.

## Conclusion

**71.** Au niveau cellulaire, il n'y a pas de preuve précise qui permette de dire que l'exposition aux champs électromagnétiques faibles (de moins de 0.1mT) peut affecter les processus biologiques. Les études sont souvent contradictoires et les résultats positifs doivent être confirmés par des laboratoires différents, utilisant les mêmes conditions expérimentales.

**72.** Les données qui suggèrent un effet de l'exposition aux champs électromagnétiques proviennent de trois pistes différentes :

- un possible renforcement des altérations génétiques causé par des agents génotoxiques connus,
- des effets sur les messagers intracellulaires, et spécialement les flux de calcium,
- des effets sur l'expression génique spécifique.

**73.** Ces résultats en faveur d'un effet des champs électromagnétiques ne semblent montrer que des modifications faibles, pour lesquelles les conséquences biologiques ne sont pas évidentes.

**74.** La plupart des effets positifs impliquent des champs supérieurs à 0.1 mT que l'on a peu de chance de rencontrer dans des expositions domestiques. Il est courant de tester les carcinogènes bien au-dessus des niveaux usuels d'exposition pour démontrer leur potentiel, en supposant une relation linéaire sans seuil. Cependant, une telle supposition pourrait ne pas être justifiée avec des agents non-génotoxiques et pour lesquels il est plus utile de baser l'évaluation du risque sur une exposition réaliste. De plus, la densité du courant induit peut-être complètement différente in vivo et in vitro.

# **LES ETUDES RECENTES SUR LA CARCINOGENESE CHEZ LES ANIMAUX ET LES VOLONTAIRES**

## Résumé

Il existe peu de preuves cohérentes d'un quelconque effet inhibiteur des champs électromagnétiques sur les différents aspects des fonctions immunitaires concernant l'inhibition tumorale ; ceci inclut des travaux in vivo sur la réponse immunitaire à l'infection par l'intermédiaire des lymphocytes T et la stimulation antigénique et, suivant l'exposition in vivo, des essais in vitro sur la prolifération lymphocytaire, l'activité des lymphocytes « killer », des macrophages et des lymphocytes B (anticorps). Une activité réduite des lymphocytes « killer » a constamment été observée chez les souris femelles exposées aux champs magnétiques mais pas chez les souris mâles exposées, ni chez les rats, mâles ou femelles. Ceci n'a pu être corrélé à aucun changement de l'incidence des tumeurs spontanées, observée dans une autre étude. De plus, deux autres études n'ont pu établir de corrélation entre les changements de l'incidence des tumeurs possiblement induites par les champs électromagnétiques et les changements significatifs de la fonction immunitaire.

## Conclusions

**93.** Au total, aucune preuve convaincante n'a été apportée par les études expérimentales en faveur de l'hypothèse que l'exposition aux champs électromagnétiques augmente le risque de cancer. Cette conclusion est fondée sur les résultats de récentes études à grande échelle sur la carcinogénèse animale, incluant celles qui ont utilisé des animaux transgéniques, souvent menées avec plus de soin et utilisant des procédures indépendantes d'assurance qualité.

## LES ETUDES SUR LES TUMEURS ANIMALES

### Leucémies/lymphomes, tumeurs mammaires et tumeurs cérébrales

**94.** Les rongeurs, et plus particulièrement les souris, ont souvent été utilisées dans les études sur la genèse de la leucémie de l'adulte ; mais il n'y a actuellement pas de modèle animal naturel pour la forme la plus commune de la leucémie de l'enfant, la leucémie lymphoblastique aiguë. La plupart des études ont rapporté une absence d'effet des champs magnétiques sur la leucémie ou le lymphome chez les rongeurs, pour la plupart des souris. Parmi elles, plusieurs études récentes à grande échelle sur l'incidence spontanée des tumeurs chez les souris normales et transgéniques, du lymphome radio-induit et de la leucémie chez les souris. Le modèle de souris transgénique utilisé dans deux des études mentionnées ci-dessus, développe une maladie qui a des caractéristiques similaires à la leucémie lymphoblastique aiguë de l'enfant. Des études supplémentaires n'ont pas trouvé d'effet sur la progression des cellules leucémiques transplantées sur les souris ou les rats. L'effet le plus marquant rapporté dans une étude était une augmentation de l'hyperplasie lymphoïde et du lymphome chez les souris exposées sur trois générations ; cependant, les limites méthodologiques de cette étude font qu'il est difficile d'accorder une grande confiance à ces résultats.

**95.** Les carcinomes de la mamelle du rat représentent un modèle animal standard de laboratoire dans l'étude du cancer du sein humain. Trois études récentes, à grande échelle, sur des rats, n'ont montré aucun effet de l'exposition aux champs magnétiques pendant toute la vie sur l'incidence des tumeurs mammaires spontanées. Les données concernant les effets des champs électromagnétiques sur les tumeurs de la mamelle chimiquement induites sont plus incertaines. Deux études ont suggéré que l'exposition aux champs électromagnétiques augmentait l'incidence ou la croissance de ces tumeurs chez les rats femelles. Cependant, les conditions expérimentales étaient décrites de façon insuffisantes et il existait une variation inter-expérimentale considérable dans les résultats venant des autres laboratoires. Deux autres études récentes n'ont pas confirmé ces résultats ; mais il y avait des différences dans les protocoles expérimentaux entre ces études et les précédentes qui rapportaient des effets. D'autres travaux expérimentaux pourraient être recommandés pour résoudre cette incertitude.

**96.** Bien qu'il n'y ait pas de modèle animal naturel pour les tumeurs cérébrales spontanées, une récente étude à grande échelle rapporte l'absence d'effet de l'exposition aux champs magnétiques sur les tumeurs du système nerveux chimiquement induite sur les rats

femelles. De plus, la faible incidence des tumeurs cérébrales spontanées dans trois récentes études à grande échelle sur des rats n'a pas été augmentée par l'exposition aux champs magnétiques.

### **Les autres tumeurs**

**97.** En ce qui concerne les études sur les lésions préneoplasiques du foie et les tumeurs de la peau chimiquement induites, les preuves sont presque uniformément négatives. De plus, il n'y a pas d'élément convaincant d'une conversion maligne accrue. En particulier, dans trois études récentes à grande échelle sur les effets des champs électromagnétiques sur l'incidence des tumeurs spontanées chez les rongeurs, une grande proportion des tumeurs malignes semblait être réparties également entre les animaux exposés et les témoins et une relation dose réponse significative n'était pas mise en évidence.

### **Les effets des champs électromagnétiques sur les taux sériques de mélatonine**

**98.** La mélatonine intervient dans le contrôle de l'activité reproductrice des animaux qui ont une reproduction saisonnière par des effets inhibiteurs sur les taux circulants des hormones sexuelles ; un rôle dans la reproduction humaine est bien moins assuré.

### **Chez les hommes et les primates**

**99.** La plupart des études suggèrent que les rythmes de la mélatonine chez l'homme ne sont pas retardés ou supprimés par une exposition chronique aux champs électromagnétiques pulsés faibles, générée par les couvertures électriques ni par une exposition aiguë, continue ou intermittente, aux champs magnétiques, même si une étude récente montre des premiers résultats suggérant que l'exposition avant le pic nocturne de la mélatonine sérique pourrait avoir un effet dans un sous-groupe « sensible » de la population étudiée. Aucun effet convaincant sur les niveaux de mélatonine n'a été observé chez les primates exposés chroniquement aux champs électromagnétiques.

### **Chez les animaux à reproduction saisonnière et les rongeurs en laboratoire**

**100.** Les preuves d'un effet de l'exposition aux champs électromagnétiques sur les niveaux de mélatonine et le statut reproductif mélatonine-dépendant chez les animaux se reproduisant de façon saisonnière sont pour la plupart négatives. Il n'y a eu aucun effet chez le mouton Suffolk. Les rapports initiaux sur la réduction ou le retard des pics nocturnes de

mélatonine pinéale et sérique chez les hamsters Djungarian n'ont pas pu être répliqués. Aucun effet n'a été observé sur les changements du statut reproductif.

**101.** En revanche, nombre d'études ont rapporté que l'exposition aux champs électriques ou magnétiques a entraîné une réduction des niveaux de mélatonine pinéale ou sérique chez le rat. Beaucoup d'autres études n'ont trouvé aucun effet. Plusieurs souffraient de limites techniques ou d'un mauvais protocole expérimental. Au total, les preuves sont pas cohérentes, et aucun effet clair n'est mis en évidence. De plus, les études d'une équipe n'ont pu corrélérer des changements possiblement induits par les champs électromagnétiques sur l'incidence des tumeurs avec la suppression de la sécrétion de mélatonine.

### **Les effets des champs électromagnétiques sur la réponse immunitaire**

**102.** En théorie, l'exposition aux champs électromagnétiques pourrait affecter la croissance des tumeurs par des changements induits dans la réponse du système immunitaire impliqué dans la suppression tumorale. Cependant, il y a peu d'éléments convaincants d'un effet inhibiteur quelconque des expositions aux champs électromagnétiques sur les divers aspects des fonctions du système immunitaire liés à la suppression tumorale qui ont été examinés. Ceci incluait des essais in vivo sur la réponse immunitaire à l'infection par l'intermédiaire des lymphocytes T et la stimulation antigénique et, suivant l'exposition in vivo, des essais in vitro sur la prolifération lymphocytaire, l'activité des lymphocytes « killer », des macrophages et des lymphocytes B (anticorps). Une activité réduite des lymphocytes « killer » a constamment été observée chez les souris femelles exposées aux champs magnétiques mais. Ceci ne peut pas mettre en corrélation des changements dans la fréquence des tumeurs spontanées observée dans une étude isolée. De plus, d'autres études n'ont pas montré de corrélation entre des changements dans l'incidence des tumeurs possiblement induits par les champs électromagnétiques et des changements significatifs dans la fonction immunitaire.

# **ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES RECENTES SUR LES CHAMPS ELECTRIQUES ET MAGNETIQUES RESIDENTIELS ET CANCER**

## Conclusions

Dans la plupart des études individuelles sur la leucémie de l'enfant, les odds-ratios ou les risques relatifs comparant les niveaux des champs électromagnétiques souvent supérieurs à 0.20 ou 0.25  $\mu\text{T}$  avec tous les autres ou ceux exposés à de faibles niveaux ont été supérieurs à 1.0, alors que l'UKCCS (1999), avec des données concernant une population plus importante et des mesures directes d'exposition, ne montrait pas d'augmentation de risque, bien que peu d'enfants étaient exposés à de forts niveaux. Cependant, la récente analyse conjointe d'Ahlbom et al (2000) intégrant des études avec des mesures directes ou par calcul des champs, montre un risque relatif de presque 2.0 chez les exposés à plus de 0.4  $\mu\text{T}$ , comparés à ceux exposés à moins de 0.1  $\mu\text{T}$ . Cet excès n'est certainement pas dû au hasard. Cependant, dans le groupe à forte exposition dans les études où le champ est mesuré (principalement dans l'étude américaine -Linnet et al, 1997), plutôt que dans les études scandinaves où le champ est calculé, des biais de sélection peuvent avoir contribué à cet excès. Enfin, à la fois pour les études où le champ a été mesuré et celles où il a été calculé, il se peut aussi que des facteurs confondants aient contribué à cet excès. De ce fait, il est difficile de savoir quelle part de l'excès observé peut être dû à cette cause. En l'absence de mesure adéquate de l'exposition en temps opportun avant le diagnostic, tout facteur causal pourrait être sous-estimé que ce soit à des expositions inférieures ou supérieures à 0.4  $\mu\text{T}$ . Les données sur les tumeurs cérébrales proviennent soit d'études qui ont aussi étudié la leucémie, soit qui ont étudié exclusivement ces tumeurs. Ici, il n'y a pas de preuve d'association. Il y a eu beaucoup moins d'études chez les adultes. Il n'y a aucune raison de croire que l'exposition aux champs électromagnétiques soit impliquée dans le développement de la leucémie ou des tumeurs cérébrales chez l'adulte, même si cette possibilité ne peut être exclue.

# **EXPOSITION PROFESSIONNELLE A DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES EBF ALTERNATIFS ET CANCER**

## Conclusions

La plupart des études récentes sur l'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques et le risque de cancer sont, en général, de méthodologie fiable et quelques une ont une puissance statistique considérable, mais il n'est toujours pas possible d'être sûr qu'il existe une association positive entre une telle exposition et le risque de maladie. Les excès de risque, quand ils existent, sont généralement modestes et surtout restreints aux deux cancers précédemment notés, à savoir les leucémies et les tumeurs cérébrales. Le type cellulaire particulier de leucémie associé à l'exposition demeure contradictoire, mais il s'agit le plus souvent de la leucémie myéloïde aiguë. Aucun risque de tumeur cérébrale ou de leucémie n'a été établi avec certitude.

# CONCLUSIONS

**1.** Le groupe de travail fournit dans ce rapport un bilan global des études expérimentales et épidémiologiques en rapport avec une évaluation du risque éventuel de cancer associé aux expositions aux champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences qui ont été publiées depuis son premier rapport de 1992. Il ne concerne pas les expositions aux hautes fréquences ni les autres effets potentiels de ces expositions. La possibilité d'une association entre les maladies neurologiques, comme la maladie d'Alzheimer, et l'exposition aux champs magnétiques, est considérée séparément. Le rapport traite des expositions résidentielles et professionnelles aux champs électromagnétiques et rapporte les récentes enquêtes épidémiologiques sur l'incidence du cancer chez l'homme. Il traite aussi des études cellulaires, animales, et de celles conduites chez les volontaires récemment publiées.

## Evaluation de l'exposition

**2.** Des études passées en revue dans le premier rapport du groupe de travail souffrent d'un manque d'évaluation de l'exposition basée sur des mesures. Depuis lors, des progrès considérables ont été réalisés dans les méthodes d'évaluation de l'exposition, aussi bien pour les études expérimentales qu'épidémiologiques. L'instrumentation permettant une mesure de l'exposition personnelle est devenue largement disponible et a été utilisée dans nombre d'études récemment publiées. Ceci a amélioré l'estimation des expositions dans de nombreuses études épidémiologiques étudiées par le groupe.

## Etudes cellulaires

**3.** Au niveau cellulaire, il y a pas de preuve précise qui permette de retenir que l'exposition aux champs électromagnétiques aux niveaux habituels peut affecter les processus biologiques. Les études sont souvent contradictoires et des résultats positifs doivent être confirmés par des laboratoires différents, utilisant les mêmes conditions expérimentales. Il n'y a pas de preuve convaincante pour que l'exposition à de tels champs soit directement génotoxique, ni qu'elle puisse entraîner une transformation des cellules en culture. Pour cette raison il est peut probable que ceci soit l'amorce d'un processus de carcinogénèse.

**4.** Les données qui suggèrent un l'effet de l'exposition aux champx électromagnétiquex proviennent de trois pistes différentes :

- un possible renforcement des altérations génétiques causées par des agents génotoxiques connus,
- des effets sur les messagers intracellulaires, et spécialement les flux de calcium,
- des effets sur l'expression génique spécifique.

**5.** Ces résultats en faveur d'un effet des champs électromagnétiques ne semblent montrer que des modifications faibles, pour lesquelles les conséquences biologiques ne sont pas évidentes.

**6.** La plupart des effets rapportés sont associés à une exposition prolongée à des champs à des niveaux supérieurs à 100  $\mu\text{T}$  que l'on a peu de chances de rencontrer dans les expositions résidentielles où les niveaux sont souvent compris entre 10 et 200 nT. Il est courant de tester les carcinogènes bien au-dessus des niveaux que l'on rencontre normalement pour démontrer leur potentiel, en supposant une relation linéaire dose-réponse sans seuil. Cependant, une telle supposition pourrait ne pas être justifiée avec des agents non-génotoxiques pour lesquels il est plus utile de baser l'évaluation des risques sur une exposition réaliste. De plus, la densité du courant induit peut-être complètement différente in vivo et in vitro.

### **Etudes sur les animaux et les volontaires**

**7.** En général, aucune donnée convaincante n'a été observée à partir d'un grand nombre d'études animales en faveur de l'hypothèse que l'exposition aux champs électromagnétiques augmenterait le risque de cancer.

**8.** Les rongeurs, et plus particulièrement les souris, ont souvent été utilisées dans les études sur la leucémogénèse de l'adulte ; il n'y a cependant pas de modèle animal naturel pour la forme la plus commune de la leucémie de l'enfant, la leucémie lymphoblastique aiguë. La plupart des études ont rapporté une absence d'effet des champs magnétiques de fréquence industrielle sur la leucémie ou le lymphome chez les rongeurs, pour la plupart des souris. Parmi elles, plusieurs études récentes à grande échelle sur l'incidence spontanée des tumeurs chez les souris normales ou transgéniques et du lymphome radio-induit et de la leucémie chez

les souris. La souris transgénique utilisée dans deux des études mentionnées ci-dessus développe une maladie qui a des caractéristiques similaires à la leucémie lymphoblastique aiguë de l'enfant. Des études supplémentaires n'ont pas trouvé d'effet sur la progression des cellules leucémiques transplantées chez les souris ou les rats.

**9.** Les carcinomes de la mamelle du rat représentent un modèle animal standard de laboratoire dans l'étude du cancer du sein humain. Trois études récentes, à grande échelle, sur des rats, n'ont montré aucun effet de l'exposition aux champs magnétiques pendant toute la vie sur l'incidence des tumeurs mammaires spontanées. Les données concernant les effets des champs électromagnétiques sur les tumeurs de la mamelle chimiquement induites sont plus incertaines. Deux études ont suggéré que l'exposition aux champs électromagnétiques augmentait l'incidence ou la croissance de ces tumeurs chez les rats femelles mais deux autres études récentes n'ont pas confirmé ces résultats.

**10.** Bien qu'il n'y ait pas de modèle animal naturel pour les tumeurs cérébrales spontanées, une récente étude à grande échelle rapporte l'absence d'effet de l'exposition aux champs magnétiques sur les tumeurs du système nerveux chimiquement induites sur les rats femelles. De plus, la faible incidence des tumeurs cérébrales spontanées dans trois récentes études à grande échelle sur des rats n'a pas été augmentée par l'exposition aux champs magnétiques. En ce qui concerne les études sur les autres types de tumeurs, particulièrement les tumeurs de la peau provoquées par des produits chimiques, les résultats sont presque uniformément négatifs.

**11.** La possibilité que la mélatonine agisse en tant que suppresseur naturel de la tumeur est controversée. Cependant, nombre d'études ont examiné la possibilité d'une modification des rythmes circadiens de la mélatonine endogène par les champs électromagnétiques. La plupart des études sur les volontaires ne montrent pas que les rythmes de la mélatonine soient retardés ou supprimés par une exposition aux champs électromagnétiques, même si une étude récente montre des premiers résultats suggérant que l'exposition avant le pic nocturne de la mélatonine sérique pourrait avoir un effet dans un sous-groupe « sensible » de la population étudiée. De plus, les données d'un effet de l'exposition aux champs électromagnétiques sur les taux de mélatonine et le statut reproductif mélatonine-dépendant chez les animaux se reproduisant de façon saisonnière sont pour la

plupart négatives. Les résultats concernant la suppression de la mélatonine pinéale ou la modification des taux de mélatonine sérique chez le rat par les champs électromagnétiques comme la pertinence physiologique de quelque effet (s'il se produit) restent incertains.

**12.** Il n'y a pas de résultat cohérent d'un quelconque effet inhibiteur des expositions aux champs électromagnétiques sur des fonctions du système immunitaire liées à la réduction des tumeurs. De plus, deux études n'ont pas corrélé des changements dans l'incidence tumorale possiblement induits par les champs électromagnétiques et des changements significatifs dans la fonction immunitaire.

### **L'exposition résidentielle**

**13.** De récentes études à grande échelles, bien conduites, ont fourni des éléments plus convaincants que ceux qui auparavant disponibles sur la relation entre les champs magnétiques à fréquence industrielle et le risque de cancer. Dans leur ensemble, ils suggèrent que des expositions moyennes relativement élevées de 0.4  $\mu$ T ou plus doublent le risque de leucémie chez les enfants de moins de 15 ans. Cependant, la preuve n'est pas concluante. Dans les études dans lesquelles des mesures sont faites, on peut se demander dans quelle mesure les enfants les plus exposés sont représentatifs, alors que dans celles des pays nordiques, dans lesquelles on est certain de la représentativité, les champs étaient estimés et les résultats basés sur de si petits nombres que les résultats pourraient être dû au hasard. En Grande Bretagne, très peu d'enfants (peut-être 4 sur 1000) sont exposés à 0.4  $\mu$ T ou plus et une étude en Grande Bretagne, avec le plus grand nombre de mesures directes d'exposition, n'a pas trouvé de preuve du risque à des niveaux plus bas. Cependant, il reste possible qu'une exposition élevée et prolongée à des champs magnétiques puisse accroître le risque de leucémie chez l'enfant. Des données sur les tumeurs cérébrales proviennent soit d'études qui ont aussi étudié la leucémie, soit qui ont exclusivement étudié ces tumeurs. Elles ne fournissent pas de preuve comparable d'une association. Il y a eu beaucoup moins d'études chez les adultes. Il n'y a aucune raison de croire que l'exposition résidentielle aux champs électromagnétiques est impliquée dans le développement de leucémie ou des tumeurs cérébrales chez l'adulte.

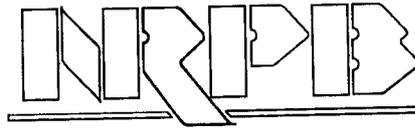
### **Exposition professionnelle**

**14.** L'étude des populations exposées professionnellement aux champs électromagnétiques peut inclure des groupes généralement plus exposés que le public. De ce fait, elles pourraient avoir un plus grand potentiel de détection d'effets délétères sur la santé. Même si les études publiées récemment en exposition professionnelle sont de méthodologie de bonne facture, et pour certaines d'un pouvoir statistique considérable, une relation causale avec une augmentation de l'incidence des tumeurs n'a pas été établie. Les excès de risque, quand ils existent, sont généralement modestes et limités aux deux cancers qui étaient notés dans le rapport de 1992 du groupe de travail : la leucémie et les tumeurs cérébrales. Les données sont contradictoires quant au type cellulaire particulier de leucémie associé au risque le plus élevé mais la leucémie myéloïde aiguë est la plus citée. Les études sur le risque de tumeur cérébrale demeurent contradictoires, même s'agissant des meilleures d'entre elles.

### **Conclusion générale**

**15.** Les expériences en laboratoire n'ont pas montré que les champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence pouvaient être responsables de cancers, et les études épidémiologiques ne suggèrent pas non plus qu'ils peuvent provoquer de cancers en général. Cependant, certaines données épidémiologiques montrent qu'une exposition prolongée à de hauts niveaux de champs magnétiques de fréquence industrielle est associée à un faible risque de leucémie chez l'enfant. De tels niveaux d'exposition ne sont que rarement rencontrés dans la population en Grande Bretagne. En l'absence de démonstration assurée des effets carcinogènes chez les adultes, ou d'une plausible explication expérimentale, les résultats épidémiologiques ne permettent pas de conclure que de tels champs sont responsables de leucémie chez les enfants. Cependant, à moins que des travaux de recherche supplémentaires montrent que ces résultats sont dus au hasard ou à des artefacts actuellement non reconnus, la possibilité demeure que des expositions intenses et prolongées aux champs magnétiques pourraient augmenter le risque de leucémie chez l'enfant.





**DOCUMENTS  
OF THE NRPB**

**ELF Electromagnetic Fields  
and the Risk of Cancer**

**Report of an Advisory Group on  
Non-ionising Radiation**

**VOLUME 13 NO 1 2001**

National Radiological Protection Board  
Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ

# Contents

---

<b>ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer</b>	
<b>Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation</b>	<b>1</b>
<b>Advisory Group on Non-ionising Radiation</b>	<b>3</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>5</b>
References	11
<b>2 ELF Electric and Magnetic Fields: Sources and Measurements</b>	<b>12</b>
Introduction	12
Exposure assessment	13
Exposure to ELF fields	17
Summary	34
References	35
<b>3 Recent Cellular Studies Relevant to Carcinogenesis</b>	<b>38</b>
Introduction	38
Initiation	39
Promotion or alteration of cellular processes which could affect the mechanisms leading to cancer	44
Summary	54
Conclusions	55
References	56
<b>4 Recent Animal and Volunteer Studies Relevant to     Carcinogenesis</b>	<b>61</b>
Introduction	61
<i>In vivo</i> studies of mutagenesis	62
Animal tumour studies	62
Melatonin, cancer and electromagnetic fields	80
Immune system responses relevant to cancer	90
Conclusions	95
References	97
<b>5 Recent Epidemiological Studies on Residential Electric and     Magnetic Fields and Cancer</b>	<b>103</b>
Introduction	103
Studies of leukaemia and other malignancies in children	109
Other studies of children specifically limited to CNS tumours	121
Studies of cancer in adults	122
Appliance use	125

Miscellaneous studies	127
Commentary	128
Overviews	129
Case-specular method	134
Conclusions	135
References	136
<b>6 Occupational Exposure to Time-varying ELF Electric and Magnetic Fields and Cancer</b>	<b>139</b>
Introduction	139
Studies lacking personal exposure measurements	139
Studies with quantitative estimates of personal exposures	145
Methodological issues	155
Discussion	155
Conclusions	158
References	158
<b>7 Conclusions</b>	<b>161</b>
Exposure assessment	161
Cellular studies	161
Animal and volunteer studies	162
Residential exposure	163
Occupational exposure	163
General conclusion	164
<b>8 Recommendations for Research</b>	<b>165</b>
Experimental studies	165
Epidemiological studies	166
<b>Appendix - Incidence of Neoplasia in Life-time Animal Studies</b>	<b>168</b>
References	177
<b>Glossary</b>	<b>178</b>

---

# Advisory Group on Non-ionising Radiation

---

## **CHAIRMAN**

Sir Richard Doll  
Imperial Cancer Research Fund Cancer Studies Unit, Oxford

## **MEMBERS**

Professor C Blakemore  
University of Oxford  
Professor E H Grant  
Microwave Consultants Limited, London  
Professor D G Harnden  
Wythenshawe Hospital, Manchester  
Professor J M Harrington  
Institute of Occupational Health, Birmingham  
Professor T W Meade  
St Bartholomew's and Royal London School of Medicine  
Professor A J Swerdlow  
Institute of Cancer Research, London

## **SECRETARIAT**

Dr R D Saunders  
National Radiological Protection Board, Chilton

## **OBSERVERS**

Dr H Walker  
Department of Health, London

## **ASSESSORS**

Dr A F McKinlay  
National Radiological Protection Board, Chilton  
Dr C R Muirhead  
National Radiological Protection Board, Chilton  
Dr J W Stather  
National Radiological Protection Board, Chilton

## **CONSULTANT**

Mr S G Allen  
National Radiological Protection Board, Chilton

---

## 7 Conclusions

---

- 1 The Advisory Group provides in this report a comprehensive review of experimental and epidemiological studies relevant to an assessment of the possible risk of cancer resulting from exposures to power frequency (extremely low frequency, ELF) electromagnetic fields (EMFs) that have been published since its first report in 1992. It is not concerned with exposures to high frequencies nor with other potential effects of exposure to power frequencies. The possibility of an association between neurological diseases, such as Alzheimer's disease, and magnetic field exposure is being considered separately. The report summarises the extent of exposure to power frequency electromagnetic fields at home and at work and reviews recent epidemiological investigations of cancer incidence in humans. It also reviews recently published cellular, animal and human volunteer studies.
- 

### EXPOSURE ASSESSMENT

- 2 Studies reviewed in the earlier report by the Advisory Group suffered from a lack of measurement-based exposure assessments. Since then, considerable advances have been made in methods for assessing exposure, both in the case of experimental studies and in epidemiological investigations. Instrumentation allowing personal exposure to be measured has become widely available and has been used in many of the more recently published studies. This has provided a substantially improved basis for many of the epidemiological studies reviewed by the Group.
- 

### CELLULAR STUDIES

- 3 At the cellular level, there is no clear evidence that exposure to power frequency electromagnetic fields at levels that are likely to be encountered can affect biological processes. Studies are often contradictory and there is a lack of confirmation of positive results from different laboratories using the same experimental conditions. There is no convincing evidence that exposure to such fields is directly genotoxic nor that it can bring about the transformation of cells in culture and it is therefore unlikely to initiate carcinogenesis.
- 4 The most suggestive evidence of an effect of exposure to power frequency magnetic fields on biological systems comes from three different areas:
  - (a) possible enhancement of genetic change caused by known genotoxic agents,
  - (b) effects on intracellular signalling, especially calcium flux,
  - (c) effects on specific gene expression.
- 5 Those results that are claimed to demonstrate a positive effect of exposure to power frequency magnetic fields tend to show only small changes, the biological consequences of which are not clear.

- 6 Many of the positive effects reported involve exposure to time-averaged fields greater than 100  $\mu$ T which are unlikely to be encountered in a domestic situation where typical exposures generally fall in the range between 10 and 200 nT. It is usual to test carcinogens at levels well above those normally encountered in order to demonstrate their potential to have an effect, on the assumption of a linear dose-response relationship without threshold. However, such an assumption may not be justified with non-genotoxic agents and risk assessment is most usefully focused on realistic exposure levels. Furthermore, the induced current density may be radically different *in vivo* as compared with that for cells in culture.
- 

#### ANIMAL AND VOLUNTEER STUDIES

- 7 Overall, no convincing evidence was seen from a review of a large number of animal studies to support the hypothesis that exposure to power frequency electromagnetic fields increases the risk of cancer.
- 8 Rodents, particularly mice, have been used extensively in studies of adult leukaemogenesis; there is, however, currently no natural animal model of the most common form of childhood leukaemia, acute lymphoblastic leukaemia. Most studies report a lack of effect of power frequency magnetic fields on leukaemia or lymphoma in rodents, mostly mice. These include several recent large-scale studies of spontaneous tumour incidence in normal and transgenic mice, and of radiation-induced lymphoma and leukaemia in mice. The transgenic mice used in two of the studies mentioned above develop a disease with some similarities to childhood acute lymphoblastic leukaemia. Further studies found no effect on the progression of transplanted leukaemia cells in mice or rats.
- 9 Rat mammary carcinomas represent a standard laboratory animal model in the study of human breast cancer. Three recent large-scale studies of rats found that lifetime magnetic field exposure had no effect on the incidence of spontaneous mammary tumours. The evidence concerning electromagnetic field effects on chemically induced mammary tumours is more equivocal. Two early studies suggested that exposure to power frequency magnetic fields increased the incidence or growth of chemically induced mammary tumours in female rats but two more recent studies have not corroborated these findings.
- 10 Whilst there is no natural animal model of spontaneous brain tumour, a recent large-scale study reported a lack of effect of exposure to power frequency magnetic fields on chemically induced nervous system tumours in female rats. In addition, the low incidence of brain cancers in three recent large-scale rat studies was not elevated by magnetic field exposure. With regard to studies of other tumours, particularly chemically induced skin tumours, the evidence is almost uniformly negative.
- 11 The possibility that the hormone melatonin acts as a natural tumour suppressor is controversial. Nevertheless, a number of studies have investigated the ability of power frequency electromagnetic fields to alter endogenous circadian melatonin rhythms. Most evidence from human volunteer studies suggests that melatonin rhythms are not delayed or suppressed by exposure to power frequency magnetic fields, although one

recent study provided preliminary data indicating that exposure prior to the night-time rise in serum melatonin may have had this effect in a sensitive subgroup of the study population. In addition, the evidence for an effect of exposure to power frequency magnetic fields on melatonin levels and on melatonin-dependent reproductive status in seasonally breeding animals is largely negative. The evidence concerning power frequency electromagnetic field induced suppression of rat pineal and/or serum melatonin levels is equivocal and the physiological relevance of any effect (if any is produced) remains unclear.

- 12 There is no consistent evidence of any inhibitory effect of power frequency magnetic field exposure on those aspects of immune system function relevant to tumour suppression that have been examined. In addition, two studies were unable to correlate possible electromagnetic field induced changes in tumour incidence with significant changes in immune function.
- 

### RESIDENTIAL EXPOSURE

- 13 Recent large and well-conducted studies have provided better evidence than was available in the past on the relationship between power frequency magnetic field exposure and the risk of cancer. Taken in conjunction they suggest that relatively heavy average exposures of 0.4  $\mu\text{T}$  or more are associated with a doubling of the risk of leukaemia in children under 15 years of age. The evidence is, however, not conclusive. In those studies in which measurements were made, the extent to which the more heavily exposed children were representative is in doubt, while in those in Nordic countries in which representativeness is assured, the fields were estimated and the results based on such small numbers that the findings could have been due to chance. In the UK, very few children (perhaps 4 in 1000) are exposed to 0.4  $\mu\text{T}$  or more and a study in the UK, with much the largest number of direct measurements of exposure, found no evidence of risk at lower levels. Nevertheless, the possibility remains that high and prolonged time-weighted average exposure to power frequency magnetic fields can increase the risk of leukaemia in children. Data on brain tumours come from some of the studies also investigating leukaemia and from others concerned exclusively with these tumours. They provide no comparable evidence of an association. There have been many fewer studies in adults. There is no reason to believe that residential exposure to electromagnetic fields is involved in the development of leukaemia or brain tumours in adults.
- 

### OCCUPATIONAL EXPOSURE

- 14 Study of populations exposed occupationally to electromagnetic fields can include groups exposed generally at much higher levels than members of the public. They may therefore have a greater potential to detect any adverse health effects. Although recently published studies of occupational exposure to electromagnetic fields and the risk of cancer are, in the main, methodologically sound, and some of them have considerable statistical power, causal relationships between such exposure and an

increase in tumour incidence at any site are not established. The excesses, where they exist, are generally modest and are largely restricted to the two cancers that were noted in the 1992 report of the Advisory Group - that is, leukaemia and cancer of the brain. Conflicting evidence exists for the particular cell types of leukaemia associated with the greatest risk but acute myeloid leukaemia is the most cited. The evidence of any risk for brain cancer is conflicting, even that from the most powerful of the studies.

---

#### **GENERAL CONCLUSION**

- 15** Laboratory experiments have provided no good evidence that extremely low frequency electromagnetic fields are capable of producing cancer, nor do human epidemiological studies suggest that they cause cancer in general. There is, however, some epidemiological evidence that prolonged exposure to higher levels of power frequency magnetic fields is associated with a small risk of leukaemia in children. In practice, such levels of exposure are seldom encountered by the general public in the UK. In the absence of clear evidence of a carcinogenic effect in adults, or of a plausible explanation from experiments on animals or isolated cells, the epidemiological evidence is currently not strong enough to justify a firm conclusion that such fields cause leukaemia in children. Unless, however, further research indicates that the finding is due to chance or some currently unrecognised artefact, the possibility remains that intense and prolonged exposures to magnetic fields can increase the risk of leukaemia in children.
-

## 8 Recommendations for Research

---

- 1 The Advisory Group recognises that the scientific evidence suggesting that exposure to power frequency electromagnetic fields poses an increased risk of cancer is very weak. Virtually all of the cellular, animal and human laboratory evidence provides no support for an increased risk of cancer incidence following such exposure to power frequencies, although sporadic positive findings have been reported. In addition, the epidemiological evidence is, at best, weak. Nevertheless, considering the ubiquitous nature of power frequency electromagnetic field exposure and the concern about possible adverse health effects, the Advisory Group considers that the following areas of research merit further investigation.
- 

### EXPERIMENTAL STUDIES

- 2 Further biophysical studies might suggest conditions of exposure more liable to affect carcinogenic processes. Particular attention should be given to weak magnetic field effects on biochemical processes involving radical pair intermediates. Consideration should also be given to the possibility that exposure parameters such as the higher frequencies associated with switching transients might be more biologically relevant than experimental data based only on the time-weighted average exposure. Additional dosimetric studies are required using improved tissue conductivity data in order to quantify more accurately the magnitude and distribution of induced current in the body. Consideration needs also to be given to the possible effects that might result from the dispersal of corona ions and the way any such effect might be assessed.
- 3 At the cellular level, further studies should be carried out of possible enhancement of genetic change caused by known genotoxic agents, effects on intracellular signalling and effects on specific gene expression. These studies should focus, where possible or appropriate, on the replication of studies that have previously suggested positive results.
- 4 For animal carcinogenesis studies, future work should be based on carefully designed, hypothesis-driven investigations. Such hypotheses may be derived from consideration of mechanistic investigations at the cellular level and epidemiological investigations. With regard to the epidemiological observations concerning possible increased risks of childhood acute lymphoblastic leukaemia, the absence of a natural animal model has imposed significant restrictions on experimentation. However, there are various transgenic mouse models of leukaemia which develop a disease having some similarities to childhood acute lymphoblastic leukaemia which may prove useful in future studies. It would in addition be valuable to study possible power frequency effects on the cellular structure and development of the prenatal and neonatal haemopoietic system and any implications for cellular differentiation and clonal growth. There is no strong epidemiological or experimental evidence concerning increased risks of brain or mammary tumours and therefore there is less imperative for further study. However, a recently developed model of spontaneous medulloblastoma in *Ptch*-knockout mice and, more particularly, a mouse model of astrocytomas, a leading

cause of brain cancer in humans, may prove useful in the investigation of electromagnetic field effects on spontaneous brain tumour incidence. In addition, further investigation should resolve present uncertainties concerning possible electromagnetic field effects on chemically induced mammary tumours.

- 5 With regard to possible effects on circulating melatonin levels, there is further scope for longer term volunteer studies in the laboratory and volunteer or observational studies in the workplace. However, careful consideration must be given to individual variability in melatonin fluctuation in addition to differences in lifestyle, night-time light exposure and other possible confounding factors.
  - 6 Whilst the evidence concerning possible electromagnetic field effects on the immune system is mostly negative, the effects on tumour rejection *per se* have not been investigated and further study should be carried out using classical tumour rejection models.
- 

## EPIDEMIOLOGICAL STUDIES

### Residential studies

- 7 Residential studies published to date have mostly been difficult to interpret because of the potential for the control data to be biased. Further work is required to investigate the extent to which the methods of control selection that have been used could have affected the frequency with which relatively high exposures were recorded.
- 8 Nothing would seem to be gained by further study of more cases of childhood leukaemia in relation to exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in the UK, as the number likely to have been exposed to fields of the strength that may cause a material increase in risk (namely fields of 0.4  $\mu$ T or more) is too small to provide any useful information. There are, however, parts of the European Union, notably Denmark and Sweden, where such exposures are more common and, moreover, where unbiased evidence can be obtained through the use of national registers. It is, therefore, to be hoped that the European Union will fund an extension of the studies that have been reported from the Nordic countries, which alone might provide clear evidence of the existence of a risk (if one does in fact exist). If parts of the world can be identified where yet greater exposures to children occur frequently, and where good quality epidemiological studies are practical, then study of leukaemia risk in relation to electromagnetic field exposures in those places would be valuable.
- 9 If relatively high residential magnetic fields do not produce a risk directly, it is possible that they might do so in association with some specific (or near specific) alteration in the cell's DNA. It might therefore be helpful to compare the characteristics of the DNA in cases of acute lymphoblastic leukaemia that occurred after exposure to such fields with the DNA in the general run of the disease. Because there would be so few relevant cases in the UK, the research would be worthwhile only with international collaboration.

### Occupational studies

- 10 Although occupational studies based on job title suggest a consistent link to excess risks of leukaemia and possible brain tumours, occupational cohort studies have not

confirmed this association and are at best equivocal. The more recent cohort studies using better exposure characterisation for magnetic and electric fields either have not shown an association with leukaemia or brain cancer, or the association has been weak. Better quality exposure assessment is needed, preferably with detailed personal records of exposure in large well-characterised cohorts. In addition to cumulative exposure assessments, consideration should be given to the use of metrics such as rate of change of exposure, exposure peaks, duration of exposure above predefined exposure levels and rapid changes in exposure (transients). The paucity of good quality exposure data hampers progress and research within industry is required to correct this deficiency, define the most heavily exposed groups and quantify their exposure. In future cohort studies of exposed workers, note should be taken of the individual's residential history and, when residence had been near a high power transmission line, measurements of exposure at home should also be included.

---