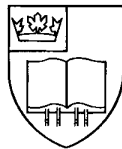


**EXAMEN DES RISQUES POTENTIELS  
POUR LA SANTÉ HUMAINE  
ASSOCIÉS AUX CHAMPS DE RADIOFRÉQUENCES PRODUITS  
PAR LES DISPOSITIFS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS SANS FIL**

Rapport préparé par un groupe d'experts  
à la demande de la Société royale du Canada  
pour Santé Canada

EXTRAITS



© The Royal Society of Canada/  
La Société royale du Canada

mars 1999

ISBN 920064-68-X

225 Metcalfe # 308  
Ottawa (Ontario)  
K2P 1P9

Telephone / Téléphone: (613) 991-6990  
Facsimile / Télécopieur: (613) 991-6996  
E-mail / Adresse électronique: [adminrsc@rsc.ca](mailto:adminrsc@rsc.ca)  
Website / Adresse Internet: <http://www.rsc.ca>

RSC.EPR 99-1

**EXAMEN DES RISQUES POTENTIELS  
POUR LA SANTÉ HUMAINE  
ASSOCIÉS AUX CHAMPS DE RADIOFRÉQUENCES PRODUITS  
PAR LES DISPOSITIFS DE TÉLÉCOMMUNICATION SANS FIL**

Rapport préparé par un groupe d'experts  
à la demande de la Société royale du Canada  
pour Santé Canada

## 1 SOMMAIRE À L'INTENTION DU PUBLIC

Au cours de la dernière décennie, l'utilisation des dispositifs de télécommunication sans fil, surtout les téléphones cellulaires, a connu une importante croissance au Canada. Cette importante demande pour des communications sans fil a nécessité la mise en place partout au Canada d'un réseau de stations servant à envoyer et recevoir les signaux de communication. Cette situation amène le grand public à s'interroger sur les risques que comporte pour la santé l'utilisation des téléphones cellulaires et des autres dispositifs de télécommunication sans fil; il s'interroge également sur les risques que représentent les stations de transmission pour les personnes qui y travaillent, celles qui vivent à proximité et les enfants qui fréquentent des écoles situées près de ces stations.

Les appareils de télécommunication sans fil émettent des champs de radiofréquences. Bien que la téléphonie cellulaire représente une nouvelle technologie, les champs de radiofréquences sont présents depuis longtemps dans notre environnement. La radio AM, la radio FM, la radio à ondes courtes et les radios amateurs utilisent toutes ces radiofréquences pour émettre leurs signaux. C'est aussi le cas de la télévision et des radars. Même si l'intensité des champs de radiofréquences utilisés aux fins de communication est souvent très faible, ces champs peuvent devenir dangereux lorsque le niveau d'exposition est suffisamment élevé. Par exemple, les aliments chauffés dans un four à micro-ondes utilisant l'énergie radioélectrique démontrent que des niveaux élevés d'exposition peuvent causer des changements importants au niveau des tissus biologiques. Ces changements sont attribuables à l'émission de chaleur.

Les rayonnements RF font partie du spectre électromagnétique dont les fréquences sont inférieures à celles de la lumière visible et supérieures aux rayonnements de très faible fréquence comme ceux produits par des fils électriques à haute tension. Contrairement au rayonnement ionisant (dont les fréquences sont plus élevées que celle de la lumière visible) les champs RF du rayonnement non ionisant ne possèdent pas suffisamment d'énergie pour briser les liens chimiques sauf lorsque l'intensité est très élevée. Néanmoins, les rayonnements RF peuvent, à des niveaux suffisamment élevés (beaucoup plus élevés que les niveaux acceptables pour les appareils de télécommunication sans fil et autorisés au Canada) provoquer une élévation de température de la matière y compris les tissus du corps humain et ainsi les endommager. Pour cette raison, une réglementation a été adoptée pour définir d'une manière générale les limites d'exposition aux champs de radiofréquences correspondants aux niveaux de sécurité et ce, en relation avec les effets bien connus de la chaleur produite.

Au Canada, les lignes directrices concernant la sécurité des appareils produisant des champs RF sont contenues dans le Code de sécurité 6 de Santé Canada. Bien que le Code de sécurité 6 s'applique uniquement aux employés du gouvernement fédéral et aux **équipements qu'ils utilisent, Industrie Canada** se fonde sur ce code pour attribuer les licences d'utilisation des appareils émettant des champs RF.

Des études menées sur des populations vivant à proximité des stations de transmission en service au Canada indiquent que le grand public est exposé à des champs RF de très faible intensité. Ce type d'exposition est des milliers de fois inférieur aux niveaux maximaux recommandés par le Code de sécurité 6. Le personnel chargé de l'entretien des antennes de ces stations est exposé à un degré à peine supérieur et les mesures de protection utilisées permettent de contrôler ces expositions. Quant aux utilisateurs de téléphones cellulaires commerciaux, leur exposition aux champs RF est inférieure aux limites contenues dans le code bien qu'elle puisse se rapprocher de ces limites. Santé Canada a entrepris récemment une révision du Code de sécurité 6 et en a rédigé une version mise à jour. Afin de s'assurer que cette nouvelle version du code permet d'offrir au public une protection adéquate contre les effets nuisibles des champs RF produits par les appareils de télécommunication sans fil, Santé Canada a mandaté la Société royale du Canada pour former un groupe d'experts chargés de revoir le Code à la lumière des données scientifiques connues à ce jour dans ce domaine. On a demandé au groupe formé de huit experts de répondre aux questions suivantes.

*Est-ce que les dispositions du Code de sécurité 6 assurent la protection des travailleurs sous RF et du grand public contre les effets thermiques associés à l'exposition à des champs RF ?*

*L'effet thermique* survient lorsque la température du corps d'un organisme (ou d'une partie de l'organisme) exposé au rayonnement RF augmente d'une manière significative. Le Code de sécurité 6 a été rédigé dans le but de protéger les travailleurs et le grand public contre les *effets thermiques*. Le groupe de travail n'a pas trouvé de preuve démontrant qu'il y ait des effets thermiques associés aux expositions égales ou inférieures aux limites prescrites pour le corps humain dans le cas des travailleurs et du grand public. Toutefois, les limites prescrites pour certaines parties du corps autorisent des niveaux d'exposition beaucoup plus élevés pour des périodes de temps plus longues. Les experts reconnaissent que les données scientifiques sur lesquelles sont fondées le niveau ou la durée de l'exposition aux champs RF pour la tête, le cou, le tronc ou les membres sont limitées. Par conséquent le groupe de travail conclut que les limites d'exposition pour certaines parties du corps peuvent ne pas assurer une protection complète des travailleurs contre les effets *thermiques* associés aux champs RF. Il faudrait donc mener des recherches additionnelles pour évaluer la nécessité d'établir des limites quant à la durée des expositions.

Il y a cependant des circonstances où l'exposition à des champs RF supérieure aux limites maximales indiquées dans le Code 6 est souhaitable pour de courtes périodes de temps. Il s'agit des applications médicales. Les diagnostics médicaux exigent à l'occasion le recours à des appareils d'imagerie par résonance magnétique. De même, de nouvelles thérapies actuellement mises au point pour le traitement des tumeurs malignes et bénignes préconisent l'utilisation des champs RF. Alors que les patients peuvent être exposés occasionnellement à ces doses à des fins thérapeutiques et ce, sans qu'il y ait de risque, il est important de protéger convenablement le personnel qui utilise ces appareils sur une base régulière contre les surexpositions.

***Quels sont les effets biologiques non thermiques et les effets potentiellement nuisibles pour la santé associés à l'exposition aux champs RF ?***

Il existe un nombre toujours croissant de preuves scientifiques qui indiquent que l'exposition à des champs RF à des intensités de loin inférieures aux niveaux pouvant causer une élévation de température mesurable, puisse affecter les cellules et les tissus. Les effets non thermiques surviennent lorsque l'intensité des champs RF est suffisamment faible pour que la quantité d'énergie impliquée ne fasse pas monter d'une manière significative la température d'une cellule, d'un tissu humain ou d'un organisme même si des changements physiques ou biochimiques surviennent. Il n'a pas été établi clairement si ces effets biologiques engendrés par des radiofréquences de faible intensité entraînent ou non des effets nuisibles pour la santé.

Il existe des effets biologiques documentés attribuables aux champs RF même pour des niveaux d'exposition très faibles et en deçà des limites prescrites dans le Code de sécurité 6. Ces effets biologiques comprennent, entre autres, les changements au niveau de l'enzyme ornithine décarboxylase, de la répartition du calcium et de la perméabilité de la barrière hématoencéphalique pour n'en citer que quelques-uns. (Voir le contenu du rapport pour des observations détaillées). Certains de ces effets biologiques engendrés à des niveaux d'expositions non thermiques peuvent être nuisibles pour la santé.

Les recherches scientifiques effectuées à ce jour supposent que l'exposition à des niveaux non thermiques à des champs RF de faible intensité ne nuit pas à la santé des personnes ni des animaux. Toutefois, la preuve scientifique existante n'est pas complète et ne permet pas d'éliminer définitivement l'éventualité que les effets biologiques non thermiques soient accompagnés d'effets nuisibles pour la santé. D'ailleurs, sans savoir comment les champs RF de faible puissance peuvent causer des effets biologiques, il est difficile de définir les limites d'exposition dans le cas des effets non thermiques.

***Quels sont les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles pour la santé associés à l'exposition aux champs RF produits par les appareils de télécommunication sans fil comme les téléphones sans fil et les transmetteurs des stations de transmission ?***

Il semble que l'exposition du grand public aux champs RF produits par les transmetteurs des stations de transmission de communications sans fil est suffisamment faible pour ne pas provoquer d'effets biologiques ou nuisibles. Il se peut que les utilisateurs d'appareils de télécommunication sans fil, y compris les téléphones cellulaires, soient exposés à des champs RF d'une manière suffisamment intense pour causer des effets biologiques même s'il est reconnu que ces effets biologiques ne sont pas associés à des effets nuisibles pour la santé.

On s'interroge sur l'incidence des effets de l'exposition aux champs RF produits par les dispositifs de télécommunication sans fil sur l'augmentation des risques de cancer. Alors que les résultats des recherches effectuées à ce jour ne sont pas cohérents, ils semblent prouver que l'exposition aux champs RF dont la nature et l'intensité correspondent à ceux produits par les appareils de télécommunication sans fil ne contribue pas à l'apparition de tumeurs. Les résultats des recherches effectuées sur l'aptitude des champs RF à endommager l'ADN sont encore moins concluants et il faudrait effectuer d'autres recherches dans ce domaine.

Des recherches cliniques ont également été menées sur les effets potentiels des champs RF sur le fonctionnement du cerveau et l'état neurologique des personnes. Ces recherches qui portaient sur les crises d'épilepsie, les problèmes de sommeil et le *syndrome RFR* n'ont pas démontré non plus l'existence d'effets nuisibles pour la santé. L'exposition aux champs RF peut réduire le temps de sommeil des personnes bien que cet effet biologique ne soit pas considéré comme nuisible à la santé.

À ce jour, les recherches en santé ont porté sur la relation qui pouvait exister entre l'exposition aux champs RF et les différents types de cancer, les problèmes de reproduction, les anomalies congénitales, l'épilepsie, les maux de tête et le suicide. Globalement, ces recherches ne prouvent pas que l'exposition aux champs RF produise des effets nuisibles pour la santé. Toutefois, étant donné que les résultats des recherches effectuées dans ce domaine sont limités, particulièrement pour ce qui est des difficultés à déterminer la nature exacte de l'exposition réelle des personnes aux champs RF, il faudrait faire d'autres recherches sur l'exposition aux champs RF et son incidence sur la santé.

*Est-il prouvé que de tels effets non thermiques, s'ils existent, peuvent avoir une plus grande incidence sur les enfants ou tout autre sous-groupe d'individus ?*

Certains sous-groupes d'individus, par exemple les enfants, les femmes enceintes ou les personnes âgées sont plus sensibles aux effets nuisibles pour la santé associés à l'environnement. Très peu de recherches ont porté sur l'observation de ces sous-groupes en rapport avec leur exposition aux champs RF. Les recherches effectuées n'étaient pas particulièrement rigoureuses et fournissent des renseignements sur des groupes d'individus plutôt que sur des individus en particulier.

On s'interroge quant à savoir si les symptômes que l'on appelle *le syndrome des RFR ou le syndrome des micro-ondes* peuvent être attribuables à une exposition de faible intensité et à long terme aux champs RF. En examinant la documentation existante sur le sujet, le groupe d'experts n'a pas trouvé de preuves démontrant l'existence d'un tel syndrome. Toutefois, il est prouvé que certaines personnes peuvent sentir les radiofréquences lorsqu'elles sont exposées aux champs RF.

*Quelles sont les implications sur le Code de sécurité 6 de l'examen fait par le groupe d'experts des données disponibles sur les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles pour la santé attribuables à l'exposition aux champs RF ? Plus particulièrement, est-ce que le phénomène des effets non thermiques devrait être pris en compte dans le Code de sécurité 6 ?*

En se basant sur l'examen des données scientifiques disponibles, le groupe de travail conclut que le Code de sécurité 6 protège d'une manière générale les travailleurs et le grand public contre les effets nuisibles pour la santé associés aux expositions thermiques de tout le corps aux champs RF.

Bien que les limites d'exposition pour tout le corps contenues dans le Code semblent assurer une protection contre les effets thermiques, le groupe de travail a noté que dans le cas de l'exposition prolongée des travailleurs, les limites établies pour les diverses parties du corps dont la tête, le cou, le tronc et les membres, il peut y avoir des effets thermiques. Le groupe de travail recommande donc que les limites d'exposition pour les diverses parties du corps dans le cas des travailleurs, soient revues quant au niveau et à la durée de l'exposition.

Les effets biologiques peuvent survenir à des niveaux d'exposition non thermiques. Toutefois, comme il n'existe pas de preuve permettant de croire que les effets biologiques sont associés à des effets nuisibles à la santé, l'éventualité que les effets biologiques observés à des niveaux d'exposition non thermiques aient une incidence demande des clarifications avant que les effets non thermiques soient inclus dans le Code de sécurité 6.

Le groupe de travail a également remarqué que les limites d'exposition prescrites pour la tête, le cou et le tronc s'appliquent également aux yeux et que le Code suggère même que ces limites devraient être abaissées dans le cas des yeux. Comme les yeux possèdent des caractéristiques physiologiques particulières, le groupe de travail recommande que les limites d'exposition pour les yeux soient abaissées. Les données existantes ne permettant pas de définir avec exactitude la limite d'exposition des yeux, le groupe de travail recommande que les limites d'exposition actuellement prescrites pour la tête, le cou et le tronc (y compris les yeux) dans le cas du grand public s'appliquent également aux travailleurs. Le groupe recommande également que de nouvelles données soient prises en compte pour mieux définir, en termes de durée, les limites d'exposition des yeux.

***Quelles sont les recherches qui s'imposent pour mieux comprendre les conséquences potentielles sur la santé des effets non thermiques ?***

Après avoir examiné la documentation scientifique disponible, le groupe de travail en a conclu qu'il fallait faire des recherches additionnelles sur les effets potentiels sur la santé des champs RF. Bien que les expositions aux champs RF puissent avoir certains effets biologiques, il faut mener d'autres recherches pour comprendre comment se produisent ces effets.

Il faut également mener d'autres recherches pour déterminer si des sous-groupes d'individus, les enfants par exemple, sont plus sensibles aux effets résultants de l'exposition aux champs RF.

Des recherches suivies sur les populations exposées constituent le seul moyen d'évaluer directement les effets éventuels des champs RF sur la santé. Comme la technologie des microondes, y compris les téléphones cellulaires, est utilisée depuis une période de temps relativement courte, il faut observer sur une plus longue période pour pouvoir identifier les effets à long terme sur la santé des expositions aux champs RF. Une évaluation adéquate de l'exposition est essentielle au succès de telles recherches.

## 2 SOMMAIRE ADMINISTRATIF

Au Canada, l'utilisation des dispositifs de télécommunication sans fil a connu une croissance fulgurante au cours de la dernière décennie. Cette croissance a mis en évidence cette technologie à un point tel que le grand public s'interroge sur le degré de sécurité de l'utilisation de ces appareils.

Les lignes directrices concernant les limites d'exposition aux champs RF sont contenues dans le Code de sécurité 6 de Santé Canada. La Société royale du Canada a rassemblé un groupe d'experts chargé d'examiner les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles à la santé des champs RF associés à l'utilisation de la technologie des télécommunications sans fil et ce, dans le contexte de la révision du Code de sécurité 6.

Des études menées sur des populations vivant à proximité des stations de transmission au Canada indiquent que ces personnes sont exposées à des champs RF de très faible intensité. Ce type d'exposition est des milliers de fois inférieur aux niveaux d'exposition maximaux recommandés par le Code de sécurité 6. Le personnel chargé de l'entretien des antennes de ces stations est, quant à lui, exposé à un degré à peine supérieur et les mesures de protection utilisées permettent de contrôler ces expositions. Quant aux utilisateurs de téléphones cellulaires commerciaux, leur exposition aux champs RF est inférieure aux limites contenues dans le Code 6 bien qu'elle se rapproche de ces limites.

Pour cette étude, le groupe d'experts a d'abord consulté la documentation scientifique publiée par des pairs. Les experts ont également rencontré des représentants des deux organismes (Santé Canada et Industrie Canada) qui ont commandé cette étude. Quant aux informations techniques sur l'utilisation des dispositifs de télécommunication sans fil, le groupe a consulté l'Association canadienne des Télécommunications sans fil (CWTA). Le groupe de travail a également tenu compte des recherches en cours en communiquant avec les principaux investigateurs de chaque étude. Enfin, toutes les parties intéressées ont été invitées à soumettre leurs commentaires. Le groupe de travail a reçu environ 30 rapports provenant d'individus et d'organisations institutionnelles. Tous les membres du groupe d'experts ont pris connaissance de ces rapports afin d'en tenir compte dans la préparation du présent rapport.

Le mandat confié aux membres du groupe de travail consistait à répondre à une série de questions portant sur les effets potentiellement nuisibles à la santé de l'exposition aux champs de radiofréquences. Voici donc les questions soumises au groupe d'experts et leurs réponses.

### ***Est-ce que les dispositions du Code de sécurité 6 assurent la protection des travailleurs sous RF et du grand public contre les effets thermiques associés à l'exposition des champs RF ?***

Les effets thermiques impliquent un réchauffement direct d'un organisme, d'un tissu ou d'une cellule par une exposition aux champs RF. Le Code de sécurité 6 a été conçu expressément pour protéger les travailleurs et le grand public contre les expositions thermiques et recommande des niveaux d'exposition de loin inférieurs aux niveaux pouvant donner lieu à des effets thermiques. Les niveaux d'exposition contenus dans le Code s'appliquent à tout l'organisme lorsque celui-ci est

à une distance donnée de la source de rayonnement. Le groupe de travail n'a trouvé aucune preuve démontrant qu'il pouvait y avoir des effets thermiques lorsque le niveau d'exposition de tout le corps est égal ou inférieur aux limites de 0.4 W/kg pour les travailleurs ou de 0.08 W/kg pour le grand public.

Le groupe a noté que les limites d'exposition pour certaines parties du corps sont beaucoup plus élevées; dans le cas des travailleurs la limite est de 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc et de 20 W/kg pour les extrémités des membres. De fortes intensités accompagnant de telles expositions, même localisées, et le fait que le Code 6 ne contient aucune limite de temps pour ce type d'exposition, donnent lieu à des situations où il pourrait y avoir des effets thermiques même si les limites contenues dans le Code sont respectées. L'exposition des parties du corps à des niveaux thermiques en deçà de ces limites pourrait, dans certains cas, induire des effets potentiellement nuisibles à la santé. Le groupe de travail reconnaît qu'il existe un nombre limité de données pertinentes sur lesquelles se fonder pour définir les limites biologiques d'un point énergétique. Comme il n'existe pas de données adéquates, le groupe a donc conclu que les limites d'exposition pour les parties du corps peuvent ne pas protéger complètement les travailleurs contre les *effets thermiques* associés à l'exposition aux champs RE Il est donc recommandé de mener des recherches additionnelles pour définir s'il est nécessaire d'établir des limites d'exposition des parties du corps, surtout pour les travailleurs, et sur la durée des expositions.

Il est à noter qu'en clinique, plusieurs appareils de diagnostic et de thérapie utilisent des radiofréquences à très haute intensité par exemple les appareils d'imagerie par résonance magnétique. Les patients sont donc exposés à un champ RF supérieur aux limites contenues dans le Code de sécurité 6. Toutefois, le groupe de travail fait remarquer que la réglementation visant les procédures d'utilisation de ces appareils ( le Code de sécurité 26 régie l'exposition des patients traités par des procédés d'imagerie par résonance magnétique) limite la durée des expositions plus intenses à de courtes périodes de temps. Par exemple, la *US Food and Drug Administration* limite l'exposition des patients à 8 W/kg dans le cas de la tête et ce, pour une durée inférieure à 5 minutes, et à 12 W/kg dans le cas des extrémités du corps pour une durée de 5 minutes au plus. Il est important de s'assurer que le personnel utilisant ces appareils soit adéquatement protégé contre les surexpositions.

*Quels sont les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles à la santé associés à l'exposition à des champs RF ?*

Certaines recherches effectuées en laboratoires portaient sur la possibilité que les champs RF puissent avoir des effets biologiques et des effets nuisibles à la santé. Les effets biologiques sont des changements mesurables qui surviennent dans les systèmes biologiques et qui peuvent ou non être associés à des effets nuisibles à la santé. On a observé des effets biologiques à des intensités de champs RF non thermiques qui ne produisaient pas de chaleur mesurable. À ce jour, il ne semble pas toutefois que ces effets biologiques aient des effets nuisibles à la santé des personnes et des animaux exposés. Les effets biologiques suivants ont été examinés par le groupe d'experts.



## Effets biologiques

### *Prolifération cellulaire*

Diverses constatations ont été faites sur les effets des radiofréquences sur la prolifération cellulaire. Il est prouvé que la prolifération cellulaire ( en autres, les cellules glioma LN71) peut augmenter lorsqu'il y a exposition à des champs RF de forte intensité dans des conditions rigides de contrôle thermique. On a également observé des modifications de la cinétique du cycle cellulaire chez des cellules ovariennes de hamster chinois exposées dans les mêmes conditions. Toutefois, il n'existe pas d'autres recherches prouvant qu'il y a augmentation de la croissance cellulaire. On a constaté une diminution de la croissance uniquement après une exposition de 30 minutes ou moins. Il semble que les taux de prolifération cellulaire ne soient pas modifiés lorsqu'il y a exposition à des champs RF de faible intensité et de niveaux athermiques.

### *Afflux de calcium*

Bien que les champs RF modulés en très faible fréquence ne semble pas affecter l'afflux de calcium ( $Ca^{2+}$ ) au niveau des tissus du cerveau, les champs RF modulés en très faible fréquence et porteurs de micro-ondes , à des intensités inférieures à celles prescrites par le Code de sécurité 6, agissent sur l'afflux de calcium. Les expositions à des champs de faibles intensité n'ont pas fait l'objet d'essais pour leur effet sur l'afflux de calcium à des fréquences supérieures à 1 GHz. Il n'est pas certain que les expositions aux champs RF produits par les dispositifs de communication sans fil affectent l'afflux de calcium au niveau du cerveau ni que ces effets aient des conséquences nuisibles à la santé.

### *Activité de l'enzyme ornithine décarboxylase*

On a observé une augmentation de l'activité enzymatique (ODC) lors d'expériences utilisant des champs RF de la grandeur de ceux générés par des dispositifs standards de télécommunication sans fil et à des niveaux d'exposition inférieurs à ceux recommandés par le Code de sécurité 6. Cette augmentation de l'activité enzymatique survient uniquement lorsque les champs RF sont modulés en très faible fréquence. Les champs générés par les téléphones numériques à impulsion et comportant une composante à faible fréquence peuvent augmenter l'activité enzymatique (ODC). L'activité enzymatique augmente avec la force du champs RF Le groupe de travail fait remarquer que bien que la presque totalité des facteurs pouvant causer le cancer entraînent une augmentation de cette activité, ce ne sont pas tous les stimuli de cette augmentation de l'activité ODC qui peuvent favoriser le cancer.

### *Mélatonine*

L'effet des champs magnétiques et électriques de très faible fréquence sur la mélatonine a fait l'objet de nombreuses études sur les animaux et les humains. On a émis l'hypothèse que les champs de très faible fréquence pouvaient modifier le développement de la maladie chez l'homme par le biais de changements au niveau de la mélatonine. Comme les niveaux de mélatonine sont très affectés par l'exposition à la lumière et peuvent être affectés par les champs de très faible fréquence, il est raisonnable de vouloir vérifier si la mélatonine peut être affectée par l'exposition à des champs RF Toutefois, il existe très peu d'études sur les effets des radiofréquences sur la mélatonine et les quelques études existantes fournissent très peu d'informations sur ces effets.

### *Effets sur la membrane cellulaire*

Diverses recherches ont permis d'identifier l'influence de l'exposition aux micro-ondes sur la quantité de Ca<sup>2+</sup> dégagée par les membranes cellulaires ; elles ont permis de noter une augmentation de la quantité produite. Par contre, d'autres recherches n'ont identifié aucun effet. On a également observé les effets des champs RF et des micro-ondes sur le transfert des cations comme le Na<sup>+</sup> et le K<sup>+</sup> au travers des membranes cellulaires. Il est possible qu'il y ait des effets sans qu'il y ait augmentation mesurable de la température.

Bien que les champs RF semblent affecter les canaux de la membrane, le mécanisme biophysique à l'origine de ces effets n'a pas été élucidé. Il faut plutôt chercher à comprendre la façon dont les champs RF et de micro-ondes agissent en présence des protéines et des lipides de la membrane, modifiant ainsi la fonction cellulaire.

### *Barrière hémato-encéphalique*

Plusieurs recherches ont démontré que l'exposition aux rayonnements RF inférieure aux limites contenues dans le Code de sécurité 6 augmente la perméabilité de la barrière hématoencéphalique. Mais ce ne sont pas toutes les recherches effectuées qui aboutissent à cette conclusion. Le fait que les résultats de ces recherches ne sont pas constants peut laisser croire que les effets de l'exposition à des champs RF n'ont pas d'incidence ou encore que les changements au niveau de la perméabilité peuvent être reliés à une fréquence en particulier ou à la modulation en très faible fréquence d'une fréquence porteuse de RF.

### *Effets sur le comportement*

Des rats exposés aux champs RF ont éprouvé des troubles de comportement au niveau de la mémoire spatial. Ces effets sur le comportement semblent reliés à certains effets des champs RF sur le système opioïde endogène.

### *Nature des mécanismes mis en cause*

De même, on comprend mal le mécanisme sous-jacent aux effets non thermiques observés lors de l'exposition aux champs RF et à l'influence de la modulation en très faible fréquence des champs RF. Il est important de bien comprendre les mécanismes biophysiques sous-jacents aux interactions entre les champs RF, les cellules et les tissus afin de pouvoir identifier clairement les relations qui peuvent exister entre les effets biologiques et les effets nuisibles à la santé.

## **Effets sur la santé**

Un certain nombre d'études toxicologiques, épidémiologiques et cliniques ont été menées dans le but d'identifier les effets potentiellement nuisibles à la santé attribuables à l'exposition aux champs RF. L'examen faite par le groupe d'experts de la documentation scientifique existante est résumé dans les pages qui suivent.

### *Études toxicologiques*

Les études faites in vivo et in vitro sur les effets de l'exposition aux champs RF sur l'ADN

ont donné des résultats contradictoires. Alors que certains résultats indiquent que les cellules et les animaux exposés aux champs RF ont vu leur ADN davantage endommagé que celle des cellules non exposées, d'autres résultats indiquent qu'il n'y a rien de significatif. De même, d'autres études ont démontré de manière significative que l'ADN des cellules exposées aux signaux de télécommunication sans fil était moins endommagé. Comme les dommages causés à l'ADN peuvent avoir des conséquences sérieuses sur la santé, la possibilité que l'exposition à des champs RF non thermiques de faible intensité puisse endommager l'ADN demeure inquiétante. Il faut donc faire d'autres recherches pour clarifier cette possibilité.

D'autres études toxicologiques ont été concentrées sur l'aptitude des champs RF à induire des tumeurs chez les animaux de laboratoire. Bien que peu d'études aient démontré un taux élevé de tumeurs chez les animaux exposés, la plupart d'entre elles indiquaient aucune différence significative entre les animaux exposés aux champs RF et ceux qui ne l'étaient pas. Il existe peu de preuve démontrant que l'exposition aux champs RF à des niveaux non thermiques favorise l'apparition de tumeurs chez les animaux.

Il existe également peu de preuve démontrant que l'exposition aux champs RF à des niveaux non thermiques favorise la croissance de tumeurs chez les animaux. Bien que quelques recherches seulement indiquent une augmentation significative chez les animaux exposés, les résultats de ces recherches ne sont pas significatifs tant que d'autres chercheurs n'auront pas obtenu les mêmes résultats. La plupart des recherches faites à ce jour n'ont trouvé aucune différence significative entre les sujets exposés et les sujets non exposés et ne permettent pas d'établir une relation de cause à effet.

Le groupe d'experts a trouvé seulement deux études portant sur la relation entre l'exposition aux RF et la croissance de tumeurs. Aucune de ces études n'a identifié de différences significatives entre les sujets exposés et les sujets non exposés.

Bien que l'on ait observé une diminution de la longévité chez certains animaux exposés aux champs RF il semble que cette diminution soit reliée aux effets thermiques attribuables à des régimes d'exposition particuliers. Par contre, la longévité accrue observée chez certains animaux exposés peut être le résultat d'une réduction de l'apport calorifique.

### *Études épidémiologiques*

À ce jour, les études épidémiologiques étudiant les effets sur la santé des champs RF ont une portée limitée surtout en raison de la difficulté d'évaluer adéquatement la nature de l'exposition. Parmi les études bien structurées et portant sur l'évaluation de l'exposition, la possibilité d'éléments confondants et la certitude des résultats, aucune n'a trouvé une augmentation significative des risques pour la santé attribuable à l'exposition aux champs RF. Toutefois, des études épidémiologiques ont démontré que l'utilisation d'un téléphone cellulaire au volant est associée à une augmentation du risque d'accidents de la route.

### *Études cliniques*

Certaines études cliniques ont porté sur la relation entre les champs RF, le fonctionnement du cerveau et l'état neurologique des personnes. Ces études ont permis d'observer les crises d'épilepsie, les troubles de sommeil et le *syndrome RFR* et n'ont pas réussi à démontrer les effets

nuisibles à la santé résultant de l'exposition aux champs RF. Toutefois, contrairement aux recherches effectuées sur des animaux, certains types d'expositions aux champs RF semblent réduire les besoins latents de sommeil des personnes; c'est là un effet biologique intéressant mais qui n'a aucun rapport avec les études cliniques.

Dans l'ensemble, les résultats des études cliniques et épidémiologiques disponibles ne sont pas constants et ne permettent pas d'établir une relation claire et bien définie entre les effets sur la santé et l'exposition aux champs RF. Étant donné la nature des études publiées, l'information requise pour décrire la relation dans le temps entre l'exposition aux champs RF et ses conséquences, s'il y en a, n'est pas disponible. Les constatations faites par les études épidémiologiques en cours, ne permettent pas d'associer l'exposition aux champs RF au risque de cancer, aux problèmes de reproduction, aux anomalies congénitales, à l'épilepsie, aux maux de tête ou au suicide. De même, ces mêmes constatations ne permettent pas de faire une évaluation approfondie des risques potentiels pour la santé. Il faut donc mener d'autres études épidémiologiques comportant des renseignements adéquats sur l'exposition aux champs RF

*Quels sont les effets biologiques non thermiques et les effets potentiellement nuisibles à la santé associés à l'exposition à des champs RF produits par les appareils de télécommunication sans fil comme les téléphones sansfil et les transmetteurs des stations relais ?*

Étant donné la faible intensité des champs RF produits par les transmetteurs des stations de télécommunication sans fil et auxquels est exposé le grand public, il semble peu probable qu'il y ait des effets biologiques ou nuisibles à la santé résultant de cette exposition. Bien que les champs RF produits par les téléphones cellulaires puissent avoir une intensité suffisante pour engendrer le type d'effets biologiques décrits plus haut, de tels effets biologiques ne sont pas réputés être nuisibles à la santé. Le groupe de travail a remarqué que les caractéristiques des champs RF produits par les téléphones cellulaires y compris les ondes porteuses modulées en très faible fréquence, peuvent jouer un rôle important dans la définition de la nature des effets biologiques attribuables aux dispositifs de télécommunication sans fil.

On s'interroge particulièrement sur la possibilité que l'exposition aux champs RF produits par les téléphones cellulaires contribue à augmenter les risques de cancer. Alors que les études

toxicologiques et épidémiologiques faites dans ce domaine ne sont pas concluantes, il n'y a pas de preuve démontrant que l'exposition à des champs RF du type et de l'intensité de ceux produits par les appareils de télécommunication sans fil, contribue à la production ou au développement de tumeurs chez les animaux et chez les personnes. Bien que certaines études permettent de croire que les champs RF endommagent l'ADN (notamment les études faites à l'aide d'échantillons Comet sur les bris de la chaîne de l'ADN), la plupart des recherches faites en génotoxicité sont négatives à ce sujet. D'autres recherches s'imposent pour identifier le potentiel génotoxique des champs RF.

Des études cliniques ont examiné les effets potentiels des champs RF sur le fonctionnement du cerveau et l'état neurologique des personnes. Ces études portaient entre autres sur les crises d'épilepsie, les troubles de sommeil et le *syndrome RFR*, et n'ont pas prouvé l'existence d'effets nuisibles à la santé. Les expositions aux champs RF peuvent réduire les besoins de sommeil des individus, mais cet effet biologique n'est pas considéré comme nuisible à la santé.

*Est-il prouvé que de tels effets non thermiques, s'ils existent, peuvent être plus importants chez les enfants et d'autres sous-groupes d'individus ?*

Il existe amplement de preuves démontrant que les enfants ou d'autres sous-groupes de personnes (par exemple, les femmes enceintes et les personnes âgées) sont plus sensibles aux effets chimiques et biologiques que les jeunes adultes en santé. Très peu **d'attention a été porté aux** sousgroupes de personnes susmentionnés relativement aux effets attribuables à l'exposition aux champs RF. Les recherches à faire devraient cibler davantage ces sous-groupes plus sensibles aux expositions aux champs RF.

Les études épidémiologiques faites sur les enfants étaient fondées sur des considérations d'ordre écologique et manquaient de renseignement sur les individus quant à l'exposition aux champs RF et quant aux facteurs confondants. Ainsi ces études ne fournissent pas de renseignements sur les risques potentiels pour la santé des champs RF.

Huit études cliniques ont été menées pour explorer l'existence du syndrome de la maladie des RF. Aucune n'a trouvé un seul effet des RF sur les symptômes associés à ce syndrome. Toutefois, il semble que certaines personnes puissent sentir les rayonnements lorsqu'elles sont exposés aux champs RF.

*Quelles sont les implications sur le Code de sécurité 6 de l'examen fait par le groupe d'experts des données disponibles sur les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles à la santé attribuables à l'exposition aux champs RF ? Plus particulièrement, est-ce que le phénomène des effets non thermiques devrait être pris en compte dans le Code de sécurité 6 ?*

En se fondant sur l'examen des données scientifiques disponibles, le groupe de travail conclut que le Code de sécurité 6 protège d'une manière générale les travailleurs et le grand public contre les effets nuisibles à la santé associés aux expositions aux champs RF. Toutefois, bien que les limites d'exposition pour tout le corps contenues dans le Code semblent assurer une protection contre les effets thermiques, le groupe de travail a noté que dans le cas de l'exposition prolongée des travailleurs, la limite de 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc, ainsi que la limite de 20 W/kg pour les membres peuvent laisser place à des effets thermiques. Le groupe de travail recommande donc que les limites d'exposition pour les diverses parties du corps dans le cas des travailleurs, soient revues quant au niveau et à la durée de l'exposition. L'établissement de limites mises à jours visant l'exposition des parties du corps, exigera de nouvelles recherches pour identifier les effets combinés de l'intensité et de la durée de l'exposition.

Compte tenu des caractéristiques physiologiques particulières de l'oeil, y compris sa capacité limitée de dissiper la chaleur, le groupe de travail considère que la limite d'exposition de 8 W/kg applicable à la tête, au cou et au tronc dans le cas des travailleurs, ne constitue pas une protection adéquate pour les yeux. (Le Code de sécurité reconnaît cette situation en suggérant explicitement que des limites encore plus exigeantes sont souhaitables.) Les données existantes ne permettant pas de définir avec exactitude la limite d'exposition des yeux, le groupe de travail recommande que la limite actuelle de 1.6 W/kg visant l'exposition de la tête, du cou et du tronc ( y

compris les yeux) pour le grand public soit considérée comme mesure de protection intérimaire pour les yeux applicable aux travailleurs sous RF. Le groupe de travail a identifié le type de données requises à établir en priorité pour préciser les limites d'exposition des yeux.

Le groupe de travail a remarqué que des effets biologiques peuvent survenir à des niveaux d'exposition non thermiques y compris des niveaux inférieurs aux limites d'exposition contenues dans le Code sécurité 6. Bien qu'il soit concevable que des effets biologiques puissent être nuisibles à la santé, il existe peu d'information permettant de conclure que des effets nuisibles à la santé soient associés aux effets biologiques causés par des expositions non thermiques aux champs RF. Il faut apporter des clarifications au risque potentiel pour la santé que représentent les effets biologiques causés par l'exposition aux champs RF avant de les prendre en compte dans le Code de sécurité 6. Le groupe de travail recommande que des études additionnelles soient faites sur les effets biologiques des champs RF, y compris le mécanisme sous-jacent.

***Quelles sont les recherches à faire pour mieux comprendre les conséquences potentielles sur la santé des effets non thermiques ?***

Le groupe d'experts a identifié quatre approches expérimentales pour parfaire notre connaissance des effets des champs RF. Il s'agit d'expériences in vivo et in vitro faites sur des animaux et des cellules qui fourniront les informations de base requises pour évaluer les effets potentiels sur la santé; des études sur les molécules permettront d'étudier les mécanismes des effets biologiques; des recherches cliniques permettront d'observer les effets des champs RF particulièrement sur certains sous-groupes de personnes; enfin, des recherches épidémiologiques permettront d'observer l'impact possible de l'exposition aux champs RF sur la santé des personnes. La section 10 du rapport contient un calendrier plus détaillé des recherches à effectuer.

D'autres recherches s'imposeront au fur et à mesure qu'apparaîtront de nouvelles technologies utilisant des fréquences et des modulations de fréquence qui n'ont pas fait l'objet de recherches antérieurement. Le groupe a également identifié une lacune importante au niveau des informations disponibles sur l'interaction possible des expositions simultanées aux champs RF et aux très faibles fréquences générés par les ondes porteuses.

Des études épidémiologiques ininterrompues sont essentielles pour fournir les informations de base permettant d'identifier directement et de caractériser les effets des champs RF sur la santé. La période d'utilisation des téléphones cellulaires et de dispositifs du genre n'est pas assez longue pour pouvoir faire une étude approfondie des effets potentiels qu'ils représentent pour la santé. De plus, non seulement ce moyen de communication connaît une forte croissance, mais aussi les nouveaux systèmes mis au point utiliseront des radiofréquences différentes et des protocoles aux caractéristiques différentes. Dans l'avenir, l'exposition aux champs RF sera réduite car l'industrie a tendance à réduire la puissance des émissions produites par les appareils de communication sans fil. Toutefois, il semble que la gamme des radiofréquences et les caractéristiques de transmission des futurs systèmes seront différentes de celles des appareils présentement utilisés et nécessitera une évaluation plus détaillée pour assurer la protection des usagers.

À ce jour, aucune étude épidémiologique officielle n'a été faite sur les risques potentiels pour la santé que représente l'utilisation des téléphones cellulaires. Le groupe de travail

recommande que les résultats des recherches en cours soient examinés soigneusement au fur et à mesure de leur disponibilité, y compris tout résultat pouvant être incorporé au Code de sécurité 6. Le groupe de travail fait remarquer qu'il n'existe pas d'études épidémiologiques faites sur les populations habitant le voisinage des stations de transmission; toutefois il considère que ces recherches sont moins importantes en raison de la très faible intensité des champs RF produits par les transmetteurs des stations.

## 9 CONCLUSIONS

À la demande de Santé Canada, un groupe d'experts mis sur pied par la Société royale du Canada a été chargé d'examiner les risques potentiels pour la santé associés à l'exposition aux champs de radiofréquences (RF). L'examen avait pour objectif d'étudier les effets biologiques et les effets potentiellement nuisibles à la santé pouvant résulter de l'exposition aux champs RF produits par les appareils de télécommunication sans fil. On a demandé à ce groupe d'experts de répondre à plusieurs questions afin de vérifier si les lignes directrices sur les expositions aux champs RF des travailleurs et du grand public et contenues dans la dernière mise à jour du Code de sécurité 6 étaient ou non adéquates pour assurer leurs protection.

En se basant sur les données scientifiques disponibles le groupe d'experts a conclu que le Code de sécurité 6 protégeait les travailleurs et le grand public contre les effets nuisibles à la santé associés aux expositions thermiques au niveau de l'organisme. Toutefois, même si les limites d'exposition pour tout le corps semblent assurer une protection contre les effets thermiques des champs RF, le groupe a noté que les limites DAS de 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc et de 20 W/kg pour les extrémités dans le cas des expositions prolongées des travailleurs, pouvaient induire des effets thermiques. Comme le Code ne prescrit pas de limites pour la durée de l'exposition, les travailleurs peuvent donc être exposés pendant 8 heures par jour, 5 jours par semaine sans déroger au Code. Le groupe de travail a également remarqué que la US *Food and Drug Administration* impose des limites similaires ( 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc, et 12 W/kg pour les membres) pour les patients soumis à un examen IRM et que la durée de ces examens est limitée à 5 minutes. Par conséquent, le groupe recommande que les limites d'expositions des parties du corps dans le cas des travailleurs soient revues en tenant compte de l'intensité et de la durée de l'exposition. Le groupe recommande que des recherches soient menées au besoin, pour fournir une base de données scientifiques justifiant les changements proposés.

Le groupe de travail a noté que les limites d'exposition retenues pour la tête, le cou et le tronc s'appliquaient également aux yeux et que le Code précisait qu'une limite inférieure était souhaitable dans le cas des yeux. Étant donné les caractéristiques physiologiques particulières des yeux, le groupe de travail recommande que les limites d'exposition applicables aux yeux soient revues au fur et mesure de la disponibilité des nouvelles informations scientifiques. Comme le Code ne contient pas de limites quant à la durée de l'exposition, le groupe de travail recommande d'abaisser la dose retenue pour les yeux dans le cas des travailleurs sous RF pour qu'elle soit la même que celle retenue (1.6 W/kg) pour le grand public et ce, à titre de mesure intérimaire.

Pour le groupe de travail, il est évident qu'il y a des effets biologiques résultants de l'exposition de cellules ou d'animaux à des niveaux d'exposition non thermiques aux champs RF. L'observation de ces effets biologiques répond aux normes scientifiques en ce que les expériences faites ont été bien conçues, ont fait l'objet de contrôles positifs et négatifs appropriés, étaient fondés sur des paramètres valides, comportaient une évaluation statistique appropriée de la signification des données et ont été faites par plus d'un chercheur (voir le rapport pour plus de détails).

L'importance de ces effets biologiques observés et générés par des niveaux non thermiques



d'exposition aux RF en relation avec la réglementation décrite dans le Code de sécurité 6, repose sur la nature de l'association de ces effets biologiques avec les effets sur la santé documentés. Tous les effets biologiques observés sur les cellules et les animaux à la suite d'expositions à une variété de stimuli ne résultent pas en des effets nuisibles à la santé pour l'organisme. Par exemple, lorsque le téléphone sonne, une personne peut entendre la sonnerie et réagir en décrochant le combiné ou, dans certains cas, réagir en sursautant. De toute évidence, il s'agit là d'un effet biologique qui n'a aucun effet nuisible reconnu, pour la santé de l'organisme. Pour cette raison, le groupe de travail s'est interrogé plus particulièrement quant à savoir si les effets biologiques observés au niveau cellulaire et chez les animaux exposés aux champs RF ont été vérifiés par des recherches additionnelles permettant de constater des effets nuisibles à la santé chez les organismes exposés. Le groupe d'experts n'a trouvé aucune preuve démontrant qu'il y a des effets nuisibles vérifiés chez les animaux et les personnes exposés à des niveaux non thermiques de champs RE Le groupe de travail recommande donc que le Code de sécurité 6 ne soit pas modifié de manière à tenir compte des niveaux non thermiques des expositions aux champs RF pour lesquels on a identifié des effets biologiques.

Si les effets biologiques spécifiques observés à la suite d'expositions aux champs RF de niveau non thermique étaient de nature plus intimement reliée à un effet connu comme étant une cause d'effets nuisibles à la santé, le groupe de travail aurait recommandé que les niveaux d'exposition non thermiques soient pris en compte dans une nouvelle formulation du Code de sécurité 6. Par exemple, si l'exposition aux champs RF avait causé une mutation spécifique d'un gène impliqué dans le développement d'un cancer ( par exemple, les mutations au niveau de certains proto-oncogènes qui pourraient les changer en des oncogènes fonctionnels), et si on pouvait démontré un effet dose-réponse, le groupe de travail aurait pu recommander de réglementer les champs RF non thermiques même en l'absence d'effets nuisibles à la santé observables chez les animaux et les personnes exposés. Toutefois, les effets biologiques spécifiques qui ont été observés en relation à l'exposition aux champs RF tout en étant corrélatives dans leur association avec des effets nuisibles à la santé ne constituaient pas une cause selon leur nature. Les paramètres durée et dose qui mettaient en relation l'exposition à des champs RF non thermiques et l'intensité et la durée de l'effet biologique spécifique en question, n'ont pas été décrits en détails. Le groupe de travail croit que plusieurs des recherches effectuées sur les animaux et les personnes, et portant sur les effets nuisibles potentiels , ne sont pas assez solides pour éliminer complètement la possibilité que de tels effets existent. Le groupe de travail recommande donc que des recherches additionnelles soient menées à ce sujet. Des observations faites sur les populations exposées fournissent les informations de base pour pouvoir évaluer directement les effets potentiels des champs RF sur la santé. Par ailleurs, les recherches épidémiologiques faites à ce jour ne nous apprennent rien à cause des limites de la méthodologie utilisée. Même si les effets nuisibles potentiels résultants de l'exposition aux champs RF produits par les téléphones cellulaires font présentement l'objet de plusieurs recherches épidémiologiques, aucun résultat n'est encore connu. Le groupe d'experts recommande donc que les résultats de ces recherches soient examinés en détail et qu'au besoin, les limites d'exposition du Code de sécurité 6 en tiennent compte.

Le groupe de travail n'a pas trouvé de données épidémiologiques portant sur l'exposition humaine dans le voisinage des stations de transmission. Étant donné que les niveaux d'exposition du grand public dans le voisinage des stations de transmission sont très faibles, la groupe de travail considère que de telles études épidémiologiques ne sont pas prioritaires car elles donneraient des

informations peu utiles sur le sujet.

Enfin, comme les téléphones cellulaires et les autres dispositifs du genre sont utilisés depuis peu de temps, il faudrait une période d'observation plus longue pour examiner les effets nuisibles potentiels attribuables à l'exposition aux champs RF. À l'exception des téléphones portatifs qui utilisent les systèmes à satellite à orbite basse, la plupart des dispositifs des nouvelles générations fonctionnent à des puissances de sortie beaucoup plus faibles mais à des fréquences micro-ondes dont les effets sur la santé n'ont pas fait l'objet de recherches. Les effets potentiels des signaux RF modulés par les champs magnétiques de très basse fréquence demandent aussi qu'on s'y arrête attentivement. Des découvertes scientifiques récentes permettent l'étude de telles interactions avec des moyens suffisamment sophistiqués pour observer adéquatement ces effets.

## 10 RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

Après avoir examiné la documentation scientifique actuelle, le groupe recommande que l'on mène d'autres recherches sur les effets éventuels des champs de radiofréquences sur la santé, particulièrement les effets non thermiques. Ces recherches exigeront la collaboration de chercheurs chevronnés dans nombre de domaines, notamment le génie électrique, la dosimétrie des rayonnements et la biologie, ainsi que d'autres sciences de la santé.

Le comité a dégagé quatre approches scientifiques distinctes pour élargir nos connaissances des champs RF. Les expériences de laboratoire *in vivo* et *in vitro* pourront servir à mieux connaître les effets éventuels néfastes des champs de radiofréquences sur la santé, à l'aide de systèmes d'essais non humains. Les études moléculaires offrent la possibilité d'élucider les mécanismes par lesquels interviennent les effets biologiques à des niveaux d'exposition non thermique, ce qui offrira une base pour évaluer l'importance de ces effets biologiques. Les études cliniques peuvent être particulièrement utiles pour identifier les sous-groupes de population susceptibles aux rayonnements. Il faudra mener des études épidémiologiques afin de définir les effets potentiels sur la santé d'une exposition prolongée à des champs de radiofréquences.

### 10.1 Études en laboratoire

Puisque les effets éventuels des champs RF sur la santé humaine sont encore mal définis, il faut mener des études de laboratoire bien conçues basées sur les résultats les plus pertinents aux niveaux cellulaire et animal. Même si ces expériences peuvent ne pas avoir un fondement mécanistique, ni produire des résultats concluants, elles sont nécessaires afin de dégager les conséquences éventuelles des expositions RF sur la santé.

Les études en laboratoire doivent comprendre des épreuves classiques de génotoxicité, en insistant particulièrement sur les expériences *in vivo* chez les mammifères. Les objectifs visés sont notamment les mutations chez les animaux transgéniques, les aberrations chromosomiques et la tumorigénèse chez les rongeurs transgéniques sensibles. Sont également visés les épreuves comme celles de "comet" (électrophorèse sur gel monocellulaire alcalin) qui permet de mesurer les dommages à l'ADN. Parmi les études *in vitro* importantes, il faut mentionner les études cellulaires de mammifères sur la transduction transmembranaire des signaux, la mutation, la transformation cellulaire et l'initiation promotion.

Il existe de nombreux points spécifiques à élucider. En voici une liste non exhaustive. Le premier point doit être de première priorité compte tenu des renseignements limités dont nous disposons sur les effets éventuels des champs RF sur les yeux, comme nous l'avons mentionné précédemment.

Quels sont les effets éventuels sur les yeux, notamment les pathologies de la cornée et de la rétine? Pour étudier cette question, on doit recourir à des modèles expérimentaux *in vitro* et *in vivo*.

Les rayonnements RF influent-ils sur la production et (ou) la sécrétion de la mélatonine?

Quels sont les effets des rayonnements RF sur les systèmes opioïde et cholinergique? Cet aspect doit être évalué par des épreuves *in vivo* (comportementales) et *in vitro* (cellules de mammifère à récepteurs opioïdes et cholinergiques).

Existe-t-il des effets RF sur la prolifération cellulaire pour lesquels des dépôts locaux DAS de dispositifs comme les téléphones cellulaires pourraient être importants?

De quelle façon l'exposition aux RF influe-t-elle le transport ionique transmembranaire, essentiel au fonctionnement cérébral et à l'activité électrique? Pour enquêter sur ce point, on pourrait utiliser des cultures cellulaires neuronales.

Quels sont les effets éventuels des champs RF sur la barrière hémato-encéphalique? On pourrait utiliser une barrière hémato-encéphalique artificielle - c'est-à-dire des cultures de cellules endothéliales capillaires - pour évaluer les effets éventuels.

Y a-t-il des changements neurodégénératifs associés aux champs RF (p. ex. l'accumulation de plaques amyloïdes liées à la maladie d'Alzheimer)? Cette enquête suppose la coloration histopathologique de tissus nerveux sur des animaux appropriés (les plaques amyloïdes ne se retrouvent pas chez les rongeurs) exposés de façon prolongée à des champs RF.

L'exposition RF modulée par des ondes électromagnétiques à très basse fréquence (ELF) affecte-t-elle la transduction transmembranaire des signaux chez les cellules des mammifères, plus particulièrement les concentrations de calcium cytosolique libre?

Il existe un domaine de recherche important négligé et qui touche la complexité des protocoles de communication utilisés dans les télécommunications sans fil. Souvent, ces protocoles feront appel à une radiofréquence porteuse (par exemple 900 MHz) ainsi qu'à une séquence pulsée (par exemple 217 Hz). Puisque l'exposition aux champs de radiofréquences peut ainsi se produire en présence d'ondes ELF, il est justifié d'étudier la possibilité de modification des effets par les ondes ELF.

Existe-t-il des effets biologiques résultant de modulations spécifiques des ondes ELF de l'onde porteuse (AMRT, AMCR, IRIDIUM, GSM)? Cet aspect doit être évalué dans des modèles biologiques appropriés (comportementaux) *in vitro* et *in vivo*.

## 10.2 Études des mécanismes biochimiques des effets biologiques

Il faudrait mener des études afin de dégager les mécanismes de détection biophysique qui décèlent les rayonnements RF et sont sensibles à leurs caractéristiques. Par une connaissance approfondie de ce mécanisme de détection, on pourrait concevoir des pulsations RF qui pourraient être moins susceptibles d'induire des effets biologiques indésirables. Pour y parvenir, voici les points à examiner.

- Quelle est la molécule effectrice en cause dans le mécanisme de détection biophysique des champs RF?
- Quelle est l'interaction moléculaire impliquée dans les effets des champs RF sur le mécanisme de détection biophysique?
- De quelle façon le mécanisme de détection biophysique réagit-il aux caractéristiques physiques des champs RF, notamment la fréquence porteuse, la modulation en ondes ELF, la variation de densité de puissance et la polarité du champ électrique et magnétique?

## 10.3 Études cliniques

Il est nécessaire d'effectuer des recherches quant à l'éventualité que certains sousgroupes de la population soient sensibles aux champs RF. Cet aspect peut être approfondi dans un environnement clinique de la façon décrite ci-après.

- Existe-t-il des personnes potentiellement plus sensibles aux champs de radiofréquences? Une étude à double insu pourrait être entreprise dans cette perspective.
- Quels sont les effets éventuels sur les sous-groupes? Par exemple, les épileptiques souffrent-ils davantage de crises en raison de l'exposition aux radiofréquences des téléphones cellulaires?
- Existe-t-il des marqueurs identifiables d'une hypersensibilité électrique? Cet aspect pourrait être évalué à l'aide de tests neurologiques reconnus et de résultats comme le phénomène de Uthoff.
- Quels sont les profils de réponse de l'activité du cerveau humain à l'exposition aux RF?

## 10.4 Études épidémiologiques

Il est essentiel de disposer d'études épidémiologiques continues, car c'est le seul moyen d'identifier directement et de préciser les effets éventuels de l'exposition aux champs RF sur la santé humaine. Les communications par micro-ondes, notamment les

téléphones cellulaires, ne se sont pas généralisées depuis suffisamment longtemps pour que la totalité des effets potentiels sur la santé aient pu être observés. Ce mode de communication est non seulement en pleine expansion, mais les futurs systèmes auront recours à des radiofréquences et à des protocoles aux caractéristiques différentes. Par conséquent, même si la tendance de l'industrie est de réduire la puissance d'émission de ces appareils, la gamme des radiofréquences et des caractéristiques de transmission de l'avenir seront différentes.

Malgré l'absence, jusqu'à maintenant, de preuves épidémiologiques permettant de conclure à des effets particuliers sur la santé attribuables à l'exposition aux RF, plusieurs effets sur la santé ont été pris en hypothèse, notamment les cancers et les problèmes cardio-vasculaires. Il serait possible de mener d'autres études épidémiologiques qui donneraient une mine de renseignements, notamment :

- Études supplémentaires sur les caractéristiques d'exposition de certains groupes de la population, notamment la source, l'exposition et l'ampleur de la variation individuelle de l'exposition.
- Études épidémiologiques des groupes fortement exposés, particulièrement les populations exposées en milieu de travail, où l'on trouverait une plus grande possibilité de dégager des effets néfastes sur la santé.
- Étude de cohorte des utilisateurs de téléphones cellulaires, qui permettrait d'évaluer des résultats de santé multiples dans une population exposée. Cette idée est intéressante puisque les effets éventuellement néfastes sur la santé, et justifiant des recherches plus poussées, ne sont pas encore très clairs.

De l'avis du comité, les études épidémiologiques sur les populations vivant près des stations de transmission sont de moindre valeur, puisque les champs de radiofréquences à proximité de ces transmetteurs sont faibles.

### **10.5 Financement de la recherche**

Puisque les réponses à ces questions complexes ne pourront être trouvées immédiatement, le comité préférerait que l'on réserve des fonds à des recherches ciblées sur une période de 5 à 10 ans. De plus, le comité recommande fortement que les projets de recherche conçus pour répondre à ces questions émanent des chercheurs et fassent l'objet d'un examen par les pairs.