

# La protection contre les rayonnements des radiofréquences et des micro-ondes

André Vander Vorst\*

## Introduction

Les radiofréquences (RF) et les micro-ondes (MO) sont des rayonnements non ionisants contrairement aux ondes de fréquences nettement supérieures et situées au-delà du domaine du visible. L'interaction des RF/micro-ondes avec un tissu cellulaire peut être considérée comme le résultat de trois phénomènes :

1. La pénétration des ondes électromagnétiques et leur propagation dans les cellules.
2. L'interaction primaire des ondes avec des tissus cellulaires.
3. Les effets secondaires potentiels induits par l'interaction primaire.

Le mot *interaction* est important. Il souligne le fait que le résultat final ne dépend pas uniquement de l'action du champ, mais est influencé par la réaction du système vivant. Les systèmes vivants ont une grande aptitude à compenser les effets induits par des agents externes, y compris en provenance de sources électromagnétiques. Ce fait, souvent négligé, est une des raisons principales pour lesquelles les conclusions dérivées de modèles doivent être considérées avec prudence. La *compensation physiologique* signifie que la tension imposée par les facteurs externes est totalement compensée, de sorte que l'organisme peut fonctionner normalement. La *compensation pathologique* signifie que la tension imposée entraîne l'apparition de dysfonctionnements (de l'organisme) et parfois même des modifications de structure. Il n'est pas toujours aisé de déterminer la limite entre ces deux types de compensations, ce qui a des conséquences immédiates :

*Les guides qui visent à limiter l'exposition assurent une protection contre les effets néfastes connus sur la santé.*

*Quant aux effets biologiques, ils peuvent avoir ou non des effets néfastes sur la santé.*

L'industrialisation croissante et la tendance à toujours augmenter la puissance des équipements posent la question des risques sur la santé des travailleurs, en premier lieu, des populations, ensuite. Par ailleurs, les progrès technologiques rapides en électronique, électro-optique et informatique ont préparé le terrain à un mouvement sans précédent en faveur de l'amélioration des appareils médicaux existants et du développement de nouveaux dispositifs. Notamment, les progrès en matière de technologie des RF/MO et des techniques de calcul ont ouvert la voie à de nouvelles méthodes thérapeutiques et diagnostiques. Actuellement, les RF/micro-

ondes sont utilisées ou étudiées en vue d'applications thérapeutiques dans des domaines tels que la cardiologie, l'urologie, la chirurgie, l'ophtalmologie, la cancérologie etc. Quant aux applications diagnostiques, elles concernent les domaines du dépistage du cancer, de l'imagerie médicale, etc. [1].

## Les effets biologiques

### Introduction

Le mécanisme principal du rayonnement consiste en un *champ de source* qui émet une énergie électromagnétique. Une part de l'énergie incidente est réfléchi par le corps. L'autre part est absorbée et transformée par le système biologique. Celle-ci est associée au *champ interne*. Le rapport entre les parts réfléchies et celles qui sont absorbées est fonction d'une variété de paramètres : fréquence, taille du corps, habillement, état de la peau, etc. Il est nécessaire d'utiliser les lois physiques de la théorie des champs électromagnétiques telles que la réflexion, la diffraction, la dispersion, l'interférence, l'optique et les effets quantiques pour expliquer le phénomène observé. Ceci est valable pour tout le spectre du rayonnement électromagnétique. Toutefois, dans le présent article, nous nous limiterons aux radiofréquences/micro-ondes.

Il existe d'autres mécanismes tels que la *bioélectricité* qui est extrêmement importante pour les organismes vivants. Il faut en tenir compte car un certain nombre de composants sont électrosensibles : les cellules, les membranes cellulaires, les neurones, les fibres de nerfs recouvertes ou non de myéline (une substance grasse), etc. De plus, un organisme dispose d'un large éventail de *récepteurs* qui génèrent des potentiels électriques : des impulsions nerveuses qui se propagent dans le système vivant.

De nombreux sujets ont fait l'objet d'analyses tels que l'absorption de puissance par des organismes vivants, l'interaction avec le système nerveux, l'influence des champs modulés à des fréquences extrêmement basses sur les canaux de membranes cellulaires et les effets moléculaires. Des études épidémiologiques ont aussi été effectuées. Des expériences d'absorption *in vivo* ont mis en évidence que les RF/MO affectent directement les systèmes vivants. Les études *in vitro* à différentes fréquences et intensités ont également prouvé des effets sur de nombreuses terminaisons cellulaires y compris la capacité de fixation du calcium, la prolifération, les événements modifiés par le couple ligand-récepteur et l'altération des canaux de membranes. Toutefois, des incertitudes subsistent quant à la contribution relative des effets thermiques

\* Microwaves UCL, Université Catholique de Louvain, Belgique

*directs* et *indirects* et à l'éventualité d'*interactions* directes *non thermiques*. En 1993, une étude a passé en revue la recherche européenne en matière de bio micro-ondes [2]. Il existe aussi une argumentation détaillée sur l'application des micro-ondes en médecine thérapeutique [3].

### L'état de la recherche

Les effets biologiques sont fonction du champ électromagnétique interne, c'est-à-dire à l'intérieur des tissus. Ceci nous conduit à la définition du débit d'absorption spécifique (DAS en français ou SAR en anglais) exprimé en watts par kilo (W/kg), qui quantifie la puissance absorbée par unité de masse absorbante. Le volume de la masse considérée indique si le DAS est défini sur une base locale ou moyenne. Les effets thermiques sont fonction de la distribution spatiale du DAS. La valeur du DAS influence les effets d'absorption :

- en tenant compte de la thermorégulation, 1 W/kg produit une augmentation de température de 1°C du corps humain;
- des lésions de la cornée ont été observées chez les singes suite à une exposition à un DAS de 2,6 W/kg à 2,45 GHz, alors qu'avec un traitement médical préliminaire les mêmes lésions étaient observées avec un DAS situé entre 0,26 et 0,5 W/kg;
- des lésions de la rétine ont été observées chez les singes suite à une exposition à un DAS de 4 W/kg dans la plage de 1,25 à 2,45 GHz avec champs pulsés;
- un DAS supérieur à 15 W/kg produit des malformations entraînant une augmentation de la température de plus de 5°C.

Il s'agit là d'effets *thermiques*. Ils sont produits par un transfert d'énergie allant de la source de rayonnement à la matière, variant lentement en fonction de la fréquence et largement déterminés par la perte diélectrique, celle-ci étant quasiment proportionnelle à l'intensité du rayonnement.

Une exposition à une émission pulsée produit un effet détectable à des niveaux de puissance moins élevés que dans le cas d'ondes continues (CW) : quand on compare les ondes CW et les rayonnements pulsés, il s'avère qu'à la même densité de puissance incidente moyenne les rayonnements pulsés sont davantage susceptibles de produire des effets biologiques qu'un rayonnement continu. L'action exercée sur le système nerveux a soulevé beaucoup de controverses. Au cours des dernières années, le nombre des résultats expérimentaux a augmenté considérablement [4], mettant toutefois en évidence une telle diversité de configurations expérimentales et de schémas d'exposition qu'il est difficile d'établir des conclusions quantitatives.

Il y a dix ans, la question du *syndrome des micro-ondes* à de faibles niveaux d'exposition a été soulevée en Europe de l'Est. Ce syndrome se manifeste par divers troubles tels que maux de tête, sudation,

instabilité émotionnelle, irritabilité, fatigue, somnolence, problèmes sexuels, perte de mémoire, difficultés de concentration et de prise de décision, insomnies, tendances dépressives hypocondriaques, etc. En raison de l'absence d'un groupe témoin et de données dosimétriques fiables, l'évaluation est difficile. Un article récent soutient le syndrome des radiofréquences en tant que pathologie médicale [5].

Les flux d'ions traversant les *membranes cellulaires* ont suscité beaucoup d'intérêt. Les ions utilisent des canaux spécifiques, qui s'ouvrent à un voltage donné, pour traverser les membranes. Fermés en temps normal, ces canaux s'ouvrent en réponse à un potentiel d'action. L'épaisseur de la membrane est de 10 nm alors que son potentiel est de -90 mV au repos et peut atteindre +40 mV. Par conséquent, la membrane est soumise à un champ électrique extrêmement élevé, de l'ordre de 1 à 10 millions de V/m. Des simulations par ordinateur sur une cellule ont montré que : (1) les signaux GSM et DECT ont une influence significative, (2) les signaux pulsés sont plus efficaces que les signaux CW, et (3) les composants basses fréquences du signal induisent une probabilité d'ouverture de 60 % des canaux calciques [6]. A partir de ce modèle de calcul pour une cellule, il est cependant impossible de tirer des conclusions à l'échelle du corps humain.

Au *niveau moléculaire*, des expériences *in vitro* ont mis en évidence un accroissement des anomalies chromosomiques dans le sang humain exposé à 0,5 mW/cm<sup>2</sup> et plus [7].

Certains éléments montrent que les micro-ondes peuvent affecter le fonctionnement de l'oreille, de l'œil et du cœur ainsi que de certains dispositifs médicaux. Des effets d'interférences électromagnétiques ont été détectés à une distance de 10 cm d'un stimulateur cardiaque [8].

Des *fenêtres* de fréquences et d'amplitudes ont été observées dans les systèmes génétique, immunitaire, hématologique et nerveux avec des réponses de fenêtres reproductibles allant des fréquences extrêmement basses à des ondes de l'ordre du millimètre. Il est surprenant de constater, par exemple, qu'un effet donné peut être observé à certains faibles niveaux d'exposition, mais aussi à un niveau élevé, alors qu'il ne l'est pas dans la plage intermédiaire. Dans la plage du millimètre et à des densités de puissance élevées, des effets fenêtres ont été constatés sur la synthèse de protéines des cellules de mammifère dans les plages 38-48 et 65-75 GHz. L'effet auditif par expansion thermo-élastique est l'effet fenêtre le mieux connu.

### Les effets produits sur la barrière hématoencéphalique

La barrière hématoencéphalique est un complexe anatomo-physiologique associé au système vasculaire cérébral. Il s'agit d'un système naturel de

défense qui maintient l'environnement physicochimique du cerveau à l'intérieur de limites étroites, essentielles à la vie. Il fonctionne comme un filtre différentiel qui permet le passage sélectif de substances biologiques du sang au cerveau. Par exemple, les amino-acides, les anesthésiques et le glucose peuvent accéder aux cellules cérébrales, tandis que les hydrates de carbone, les protéines ainsi que la plupart des micro-organismes et des antibiotiques sont arrêtés par la barrière hématoencéphalique. Une ouverture inopinée de celle-ci risque d'exposer le système nerveux central à un assaut de micro-organismes étrangers, ce qui peut entraîner un œdème cérébral, une augmentation de la pression intracrânienne et, dans le pire des cas, une lésion cérébrale irréversible.

Cette perméabilité sélective présente l'inconvénient que les agents et médicaments efficaces dans le traitement de maladies affectant d'autres parties du corps n'ont plus accès au cerveau pour combattre l'infection. La possibilité d'ouvrir de manière sélective la barrière hématoencéphalique suppose la possibilité d'utiliser l'hyperthermie régionale par micro-ondes afin de faciliter la chimiothérapie en cas de tumeur du cerveau et l'administration de médicaments contre le cancer tel que le méthotrexate. Ce médicament est le plus fréquemment utilisé en chimiothérapie à dose élevée, cependant sa capacité de pénétration de la barrière hématoencéphalique est parmi les plus faibles de tous les agents utilisés cliniquement.

Une attention accrue s'est portée sur une série de recherches sur les variations de perméabilité de la barrière hématoencéphalique à un niveau très faible d'exposition aux micro-ondes. Jusqu'en 2002, une trentaine d'études ont été menées sur les effets du rayonnement des micro-ondes. Les études qui montrent une perméabilité accrue chez les animaux d'expérimentation sont à peu près aussi nombreuses que celles qui n'en montrent pas, aussi bien à DAS élevé que faible. Les premières investigations ont mis en évidence des modifications à DAS élevé. Cependant, des travaux plus récents, étudiant la perte d'albumine du sérum, suggèrent que l'exposition au rayonnement micro-ondes peut altérer la perméabilité de la barrière hématoencéphalique à des DAS sensiblement inférieurs au niveau maximal admissible pour un téléphone cellulaire par exemple (soit 1,6 W/kg), voire extrêmement faibles (0,016 W/kg). Ceci justifie de se poser la question de savoir si à exposition répétée du cerveau humain aux micro-ondes provenant de téléphones cellulaires portables, "l'albumine et d'autres molécules toxiques pourraient-elles migrer et s'accumuler autour et dans les cellules cérébrales ?" [9].

### Les effets non thermiques, isothermes et microthermiques

L'éventualité d'effets non thermiques est un sujet controversé. La *controverse* n'est pas seulement scientifique, elle est pour une bonne part politique et commerciale. L'idée que des effets non

thermiques puissent être générés par des RF/MO implique des effets à un niveau assez faible, voire très faible. Faut-il accepter ou refuser les effets non thermiques ? Cette question n'est ni secondaire, ni récente. Dès 1971, Michelson et Dodge, comparant les points de vue soviétique et occidental sur les effets biologiques des micro-ondes indiquaient que : "La différence entre les points de vue soviétique et occidental apparaît particulièrement sensible dès lors qu'on comprend que le niveau d'exposition maximale admissible (MPE) est pris en compte pratiquement en fonction de l'acceptation ou du rejet des effets non thermiques des micro-ondes comme significatifs du point de vue biologique" [10].

Il faut noter que la température n'est pas un paramètre électromagnétique. Le DAS est proportionnel aux pertes d'absorption et induit une élévation de température : s'il y a absorption, il y a élévation de température. D'un point de vue phénoménologique, la théorie électromagnétique ne peut pas imposer une température constante. En conséquence, elle ne peut pas analyser la possibilité des effets de la non-absorption : en électromagnétisme, seuls des effets thermiques peuvent être évalués; or, de toute évidence, d'autres observations doivent être prises en compte, dont la température est un des paramètres. Ceci nous conduit, bien entendu, à la thermodynamique et à ses quatre paramètres : volume, pression, température et entropie. La thermodynamique est capable d'analyser des effets à température constante. En d'autres termes, l'*électromagnétisme* et la *thermodynamique* doivent être utilisés conjointement pour mettre en évidence des effets *isothermes*, l'énergie et l'entropie faisant l'objet d'une évaluation combinée. Bien évidemment, ceci complique sérieusement l'étude.

De tels phénomènes sont bien connus en électronique. La *luminescence* en est un exemple type avec conversion de chaleur en radiation lumineuse, la chaleur provenant de l'énergie thermique du réseau cristallin avec un rendement énergétique qui peut être supérieur à un. De ce fait, il y a refroidissement du réseau, souvent appelé refroidissement optique. Ce phénomène peut s'expliquer par analogie avec un moteur thermique qui transforme le travail mécanique en chaleur, c'est-à-dire une énergie d'ordre supérieur en énergie d'ordre inférieur, le rendement limite pouvant être supérieur à un. De façon similaire, des mesures sur l'interface entre l'eau et l'air ainsi qu'entre le tissu humain et l'air ont mis en évidence ce qu'on a appelé le phénomène de Saratov [11] : à des niveaux d'exposition aux ondes millimétriques aussi faibles que  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , une réponse de l'interface a été mesurée à 0,4 et 1,0 GHz pour une exposition dans les trois plages de fréquences, 50, 65 et 100 GHz, ce qui ne peut s'expliquer par l'électromagnétisme seul.

Par ailleurs, la possibilité d'effets isothermes ne doit pas détourner l'attention portée aux effets "non thermiques" qu'on devrait plutôt appeler effets

*microthermiques* [12]. La question est de savoir *s'il est possible qu'un rayonnement électromagnétique extrêmement faible ait des effets biologiques importants*. Ceci mène à considérer la possibilité pour les micro-ondes de jouer un rôle d'amorce. Les effets microthermiques pourraient n'apparaître que dans certaines plages de fréquences, se satureraient à intensité plutôt faible et pourraient être masqués par des effets thermiques. De telles théories ont été démontrées [13]. Un exemple bien connu est le système visuel humain à faibles intensités : un gain énergétique supérieur à  $10^6$  permet au photon d'amorcer l'impulsion nerveuse, *l'énergie étant fournie par le système biologique*. Les oscillations radiales des membranes cellulaires, considérées comme un phénomène de base, atteignent des fréquences de résonance de l'ordre de 50 GHz. On dispose de résultats expérimentaux en faveur de cette théorie, essentiellement dans la zone des ondes millimétriques de 40 à 150 GHz [13] [14] [15]. Cependant, ces résultats ne sont pas concluants, sinon ils auraient mis fin à la controverse.

Il est intéressant de noter que des effets biologiques ont été observés sur des composants ou systèmes vivants à des niveaux d'exposition descendant jusqu'à  $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , c'est-à-dire  $0,6 \text{ V/m}$ . Ceci appelle deux remarques : d'une part, il n'a pas été observé que ces effets étaient nocifs; d'autre part, des valeurs de champ aussi faibles sont très difficiles à mesurer correctement sans un équipement très coûteux.

## L'épidémiologie

Il est extrêmement difficile d'établir un lien entre le cancer et l'exposition à un quelconque environnement étant donné qu'il n'y a pas de cause unique de cancer et pour de multiples autres raisons. Même s'il n'existe aucun lien entre téléphone cellulaire et cancer, sur les centaines de millions d'utilisateurs de téléphones portables dans le monde, des milliers développeraient chaque année un cancer du cerveau. Il existe un consensus selon lequel les RF/MO ne déclenchent pas de *carcinogenèse* par lésion directe du génome via un mécanisme similaire aux effets du rayonnement ionisant. Toutefois, les RF/MO contribueraient à favoriser des modifications néoplastiques ou auraient une action indirecte. Des études épidémiologiques ont mis en évidence des résultats contradictoires sans importance statistique. Les études *in vitro* sur les *effets génétiques* ont fourni un certain nombre de résultats positifs qui montrent un accroissement statistiquement significatif d'altérations de l'ADN chez les souris et les rats.

Deux études épidémiologiques sur quatre, conduites sur des populations humaines exposées à des rayonnements transmis par TV/FM, ont mis en évidence un doublement des cas de leucémie aussi bien chez les enfants que chez les adultes. Le niveau d'exposition était de quelques  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , c'est-à-dire un champ électrique d'environ  $3 \text{ V/m}$ .

## La protection

Ce bref tour d'horizon montre que la situation n'est pas simple, notamment si on se rappelle que les directives visant à limiter les expositions aux champs électromagnétiques prévoient une protection contre les effets nocifs connus sur la santé alors que les effets biologiques peuvent également entraîner (ou non) des effets nocifs pour la santé. Procédons de manière systématique.

1. Dans l'environnement social général, la plupart des gens (1) souhaitent un GSM, (2) ne veulent pas de station relais à proximité, (3) sont préoccupés par l'exposition aux fréquences GSM, tandis que (4) personne ne se soucie des postes de transmission TV ou FM bien que toute la gamme de fréquences micro-ondes produise les mêmes effets biologiques.

2. Dans les recommandations actuelles, deux sortes de limitations sont prises en considération :

- des restrictions fondamentales qui devraient toujours être respectées;
- des niveaux de référence qui pourraient être dépassés sous réserve que les limitations de base ne le soient pas.

La raison en est simple. D'un côté, les restrictions fondamentales sont exprimées en quantités internes au corps et ne sont pas mesurées comme le DAS. De l'autre, les niveaux de référence sont exprimés en quantités mesurées *en l'absence d'êtres humains*, comme un champ électrique. Il existe des théories et des estimations qui relient ces deux ensembles de quantités.

3. Un seul effet biologique des micro-ondes est bien connu : *l'échauffement*. Les présentes recommandations étant uniquement fondées sur des preuves scientifiques, elles se limitent aux processus d'échauffement. A titre d'exemple, le Comité directeur scientifique de la Commission européenne a constaté en juin 1998 : "En ce qui concerne l'exposition non thermique aux champs électromagnétiques, la littérature disponible ne fournit pas suffisamment de preuves permettant de conclure à l'apparition des effets à long terme en tant que conséquence d'une exposition aux champs électromagnétiques", pour arriver à la conclusion suivante: "Par conséquent, l'état actuel des connaissances ne permet pas d'émettre, sur une base scientifique, une quelconque recommandation visant à des limites d'exposition eu égard aux effets non thermiques à long terme"<sup>1</sup>.

4. Jusqu'ici, les organismes compétents en Europe ont choisi d'éviter toute recommandation qui ne serait pas fondée sur des arguments scientifiques. C'est un choix. A notre avis, des arguments autres que scientifiques doivent également être pris en considération, par exemple les observations des

<sup>1</sup> Citation traduite.

médecins sur l'état de la santé publique, comme dans le récent Appel de Fribourg [16].

5. Les recommandations se fondent sur une seule source. A l'origine, en 1993, elles provenaient de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Aujourd'hui, elles reposent essentiellement sur des documents élaborés par la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), dont un document majeur publié en 1998, qui contient des lignes directrices visant à limiter l'exposition aux champs électromagnétiques jusqu'à 300 GHz [17]. Le Conseil européen s'en est inspiré en établissant des recommandations pour protéger le public contre l'exposition aux champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz.

6. Admettre l'éventualité d'effets isothermes ou microthermiques pose une question majeure qui suppose d'appliquer aux valeurs de puissance contenues dans les recommandations un facteur supplémentaire d'environ 100 et entraîne des conséquences financières et industrielles.

7. Les textes de base sont ambigus. Dans le document de l'OMS de 1993 [18], on peut lire à la page 21 : "Dans un environnement thermique normal, un DAS de 30 minutes à 1-4 W/kg générera chez un adulte en bonne santé une augmentation de température moyenne du corps inférieure à 1°C", et à la page 23 : "Un facteur de sécurité de 10 est introduit afin de tenir compte des effets défavorables, thermiques et environnementaux ainsi que d'éventuels effets à long terme et autres variables, pour arriver ainsi à une limite de base de 0,4 W/kg". Il est à remarquer que le document retient qu'un effet est produit entre 1 et 4 W/kg, mais qu'il calcule la protection à partir de 4 et non de 1 W/kg. Si l'on part de 1 W/kg, on obtient un facteur de sécurité de 2,5; ce qui est peu. A cette même page 23, on peut lire : "Il faudrait introduire un facteur de sécurité supplémentaire pour l'ensemble de la population qui comprend des personnes présentant une sensibilité différente à l'exposition RF. Une limite fondamentale de 0,08 W/kg, correspondant à un facteur de sécurité supplémentaire de 5, est généralement recommandée pour l'ensemble de la population"<sup>2</sup>. Ce facteur supplémentaire donne un facteur total de 50 pour 4 W/kg mais de 12,5 seulement pour 1 W/kg. La plupart des documents se réfèrent à un facteur de sécurité de 50 basé sur 4 W/kg. La même contradiction se retrouve dans le document de l'ICNIRP de 1998 aux pages 505, 507 et 509 [17].

8. S'agissant des travailleurs, pour une exposition de 30 minutes pour des adultes en bonne santé, les facteurs de sécurité, associés à l'effet connu d'accroissement de la température du corps de moins de 1°C, sont de 10 et 2,5 par rapport respectivement à 4 et 1 W/kg. Pour l'ensemble de la population, ces mêmes facteurs de sécurité sont respectivement de

50 et 12,5. Le facteur de sécurité doit tenir compte des paramètres suivants :

- l'accroissement de la température devrait être bien inférieur à 1°C;
- il peut s'agir d'une exposition de 24 heures sur 24;
- tous les adultes ne sont pas en bonne santé;
- le public est composé en partie de personnes non adultes (enfants);
- tous les enfants ne sont pas en bonne santé; et
- il existe des "effets défavorables, thermiques, environnementaux ainsi que d'éventuels effets à long terme".

Les valeurs de ces facteurs de sécurité sont-elles suffisamment élevées ? Cette question concerne les épidémiologistes qui traitent de la santé publique.

9. Certaines études sur la barrière hématoencéphalique montrent un accroissement de la perméabilité à l'albumine du sérum à un DAS de 0,016 W/kg, c'est-à-dire une valeur 5 fois moins élevée que les 0,08 W/kg qui constituent la limite retenue par l'OMS et l'ICNIRP pour l'ensemble des populations.

10. Comparons certaines valeurs de référence à une fréquence spécifique. Prenons la valeur de 900 MHz, la valeur la plus fréquemment retenue pour les téléphones cellulaires, exprimée en volts par mètre, pour l'ensemble de la population. Il convient de rappeler que la valeur correspondante pour les travailleurs est d'une puissance 5 fois supérieure et correspond à un champ électrique 2,24 fois plus élevé puisque le champ électrique est proportionnel à la racine carrée de la puissance. Nous nous trouvons dans la situation suivante :

- l'OMS, l'ICNIRP et l'Union européenne recommandent de ne pas dépasser 41.2 V/m;
- plusieurs gouvernements européens ont adopté des valeurs plus basses comme la Belgique (20,6 V/m), l'Italie (20 V/m et 6 V/m pour une exposition de 4 heures et plus), le Luxembourg (3 V/m) et la Suisse (4 ou 6 V/m);
- la ville de Paris a convenu avec les opérateurs en février 2003 de ne pas dépasser une valeur de 1 à 2 V/m selon la répartition des émissions respectivement à 900 et à 1.800 MHz;
- des effets sur la perméabilité de la barrière hématoencéphalique ont été observés à 0,016 W/kg, c'est-à-dire 18 V/m;
- la prise en compte d'effets *isothermes ou microthermiques* éventuels implique un facteur de puissance supplémentaire d'environ 100, ce qui correspond à 4 V/m;
- deux études épidémiologiques sur une exposition à des rayonnements TV/FM ont mis en évidence un doublement des cas de leucémie pour une exposition allant de 2 à 4 V/m;
- le Haut Conseil belge pour la santé a recommandé un facteur de sécurité supplémentaire de 100 à 200 correspondant à 4 à 3 V/m; et
- quant à nous, nous recommandons de ne pas dépasser 3 V/m.

<sup>2</sup> Les citations issues de ce document ont été traduites.

## Conclusions

La situation est complexe car les nombreux arguments qui peuvent être invoqués ne conduisent pas aux mêmes conclusions : il existe une grande diversité de valeurs recommandées. Les textes des recommandations comportent des ambiguïtés qui devraient être éliminées. Une autre ambiguïté à éviter est d'affirmer qu'en l'absence de résultats scientifiques probants, les recommandations ne concernent pas les *effets à long terme*, alors qu'il est recommandé aux employeurs de prêter une attention particulière à *tout* effet que des risques spécifiques peuvent avoir sur la santé et la sécurité des travailleurs. Par ailleurs, nous nous trouvons confrontés à une difficulté fondamentale, dès lors qu'il faut compter sur un médecin ou un professionnel de la médecine du travail pour établir qu'un problème de santé résulte d'une exposition à des champs électromagnétiques. ■

## Références

[1] A. Rosen, M. Stuchly, A. Vander Vorst, "Applications of RF/Microwaves in medicine", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, n° 3, pp. 963-974, mars 2002.  
 [2] A. Vander Vorst, "Microwave bioelectromagnetics in Europe", *Proc. MTT Symp.*, Atlanta, 1993, pp. 1137-1140.  
 [3] A. Rosen, H.D. Rosen, *New Frontiers in Medical Device Technology*, New York, John Wiley and Sons, 1995.  
 [4] A. Vander Vorst, F. Duhamel, "1990-1995 advances in investigating the interaction of microwave fields with the nervous system", in A. Rosen et A. Vander Vorst, (Eds), Special issue on Medical Application and Biological Effects of RF/Microwaves, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, n° 10, pp. 1898-1909, octobre 1996.

[5] A.G. Johnson Liakouris, "Radiofrequency (RF) sickness in the Lilienfeld study : an effect of modulated microwaves ?", *Arch. Environm. Health*, vol. 53, n° 3, pp. 236-238, mai/juin 1998.  
 [6] F. Apollonio, G. D'Inzeo, L. Tarricone, "Theoretical analysis of voltage-gated membrane channels under GSM and DECT exposure", *Proc. MTT Symp.*, Denver, 1997, pp. 103-106.  
 [7] V. Garaj-Vrhovac, A. Fucic, D. Horvat, "The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro", *Mutation Res.*, n° 281, pp. 181-186, 1992.  
 [8] V. Barbaro, P. Bartolini, A. Donato, C. Militello, G. Altamura, F. Ammirati, M. Santini, "Do European GSM Mobile cellular Phones Pose a Potential Risk to Pacemaker Patients ?", *Pacing Clin. Electrophys.*, vol. 18, pp. 1218-1224, 1995.  
 [9] J.C. Lin, "The Blood-Brain Barrier, Cancer, Cell Phones, and Microwave Radiation", *IEEE Microwave Mag.*, vol. 2, n° 4, pp. 26-30, décembre 2001.  
 [10] S.M. Michelson, C.H. Dodge, "Soviet views on the biological effects of microwaves - An analysis", *Health Physics*, vol. 21, pp. 108-111, juillet 1971.  
 [11] Y.P. Chukova, *Advances in Nonequilibrium Thermodynamics of the Systems under Electromagnetic Radiation*, Moscow, Academy of Sciences, 2001.  
 [12] A. Vander Vorst, "Biological effects", *Proc. Workshop II, Eur. Microwave Conf.*, Jerusalem, pp. 1-3, septembre 1997.  
 [13] H. Fröhlich, "The biological effects of microwaves and related questions", in *Advances in Electronics and Electron Physics*, pp. 85-152, New York, Academic Press, 1980.  
 [14] H. Fröhlich, "Further evidence for coherent excitations in biological systems", *Physics Lett.*, vol. 110A, n° 9, pp. 80-81, 19 août 1985.  
 [15] S. Baranski, P. Czerski, *Biological Effects of Microwaves*, Stroudsburg, PA, Dowden, Hutchinson & Ross, 1976.  
 [16] Interdisciplinäre Gesellschaft für Umweltmedizin e.V., *Freibuurger Appeal*, Bad Säckingen, octobre 2002, 5 p.  
 [17] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, vol. 74, avril 1998, pp. 494-522.  
 [18] WHO, *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*, Genève, WHO, 1993.

# Exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques : proposition de directive

Dix ans après la publication par la Commission de sa proposition concernant la protection des travailleurs exposés aux agents physiques, le Conseil poursuit sa démarche consistant à examiner chaque agent séparément. Début 2003, un groupe de travail du Conseil a entrepris l'examen d'une proposition de directive de la présidence danoise qui s'adresse spécifiquement à l'exposition des travailleurs aux champs et ondes électromagnétiques dans une gamme comprise entre 0 Hz et 300 GHz.

En 1993, au moment du dépôt de la première proposition, le Conseil des Affaires sociales avait déjà reconnu les risques associés à l'exposition des travailleurs aux rayonnements non ionisants. Ainsi, dans la directive relative au travail sur écran

(90/270/CEE), il est requis que "les radiations doivent être réduites à des niveaux négligeables du point de vue de la protection de la santé" et dans la directive relative à la protection des travailleuses enceintes (92/85/CEE), il est prévu que l'employeur prendra en compte dans l'évaluation des risques les radiations non ionisantes qui peuvent entraîner des lésions fœtales/ou des risques de détachement de placenta.

## Les normes internationales

Depuis 1974, l'organisation internationale de radioprotection (ICRP- *International Commission on Radiological Protection*, société scientifique privée fondée en 1928) aborde au sein d'un groupe de travail spécifique les problèmes de santé associés aux