



36. CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET SANTÉ

1. Introduction

1.1. Définition des champs et ondes électromagnétiques

Tout conducteur électrique génère un champ électrique dans son voisinage s'il est sous tension. Lorsqu'il est le siège d'un courant électrique, ce conducteur génère alors également un champ magnétique. Lorsque ce courant est alternatif et que la fréquence d'alternance atteint une certaine valeur, le conducteur génère alors également une onde ou rayonnement électromagnétique (EM), devenant ainsi une antenne émettrice. L'onde EM est constituée par la combinaison des champs électrique et magnétique dont l'alternance dans le temps assure l'induction mutuelle et la propagation dans l'espace.

1.2. Méthodologie suivie pour la rédaction de ce dossier

Comme tout dossier destiné à fournir une information médicale et scientifique objective, le présent dossier se base préférentiellement sur une littérature scientifique dite « tertiaire », à savoir revues critiques d'études et, lorsque celles-ci sont disponibles, méta-analyses d'études. Lorsqu'elles sont de qualité, celles-ci présentent l'avantage de fournir un état des lieux objectif de la question étudiée. Sont ainsi écartés les résultats d'études qui n'ont pas pu être reproduits à suffisance et de façon indépendante. Enfin, et comme dans tout autre domaine de la recherche biomédicale, l'aspect des possibles conflits d'intérêt (financement par l'industrie, etc.) dans le chef des auteurs est tenu en compte.

1.3. Préambule aux effets sanitaires des champs EM

1.3.1. Incertitudes quant aux mécanismes d'interaction

A ce jour, si l'on considère les intensités maximales de champs EM auxquelles la population générale est exposée de façon usuelle ou même occasionnelle, on doit retenir qu'à l'exception de certaines sources d'exposition dans les fréquences dites « intermédiaires », il n'existe pas de mécanisme d'interaction reconnu ou validé avec la santé ou avec la physiologie humaine (1,2). Néanmoins, en raison de l'omniprésence des champs EM et de la persistance de certaines incertitudes, les études scientifiques sont toujours en cours afin de mettre en évidence un éventuel impact de ces champs EM de faible intensité sur la santé ou sur le bien-être. La présente fiche fait le point sur les connaissances acquises et les constats effectués à ce jour tout en pointant les zones d'ombre persistantes.

1.3.2. Caractère non ionisant des champs EM

Une confusion est régulièrement faite entre les ondes ou rayonnements EM dont il est question ici et le rayonnement dit « ionisant ». Ce dernier recouvre les plus hautes fréquences du spectre électromagnétique (rayons UV de haute fréquence, rayons X et gamma). Il est caractérisé par sa haute énergie intrinsèque, dont découle précisément son caractère ionisant. Les effets délétères (cancérogènes en particulier) de l'ionisation des atomes et molécules existent dès les plus faibles intensités de ce rayonnement ionisant. Également, ces effets s'accumulent avec le temps, de sorte qu'une exposition prolongée à de faibles doses peut produire les mêmes effets qu'une exposition plus brève à de plus fortes doses. Ceci n'est par contre pas vrai pour ce qui concerne les champs et ondes EM dont il est question ici. En effet, de par leur fréquence (inférieure à celle des infra-rouges), ceux-ci possèdent une énergie intrinsèque très insuffisante que pour causer la moindre ionisation. Pour ces champs EM, un seuil d'intensité existe en principe pour chaque type d'effet considéré et il n'y a pas d'impact cumulatif dans le temps pour l'exposition aux très faibles intensités, telles que les intensités moyennes auxquelles tout un chacun est exposé au quotidien dans un environnement urbain moderne, par exemple (1,2).

2. Champs EM statiques

2.1. Définition

Les champs sont dits « statiques » lorsqu'ils ne varient pas dans le temps. Ces champs existent à proximité de toute installation fonctionnant en courant continu. Le champ électrique statique ne pénètre



que peu ou pas l'organisme. De plus, il est fort atténué par tout matériau interposé entre la source et le lieu d'exposition considéré. Egalement, sa distribution dans l'espace est très inhomogène, de sorte qu'il est très difficile et aléatoire de quantifier l'exposition moyenne des personnes et des populations. A l'inverse du champ électrique, le champ magnétique (CM) pénètre aisément l'organisme et n'est que peu ou pas perturbé ou atténué par les matériaux interposés. Sa distribution dans l'espace autour d'une source quelconque est donc assez homogène et prédictible. C'est donc essentiellement le CM qui a été retenu à ce jour dans les études qui se sont penchées sur la question de l'impact éventuel des champs EM statiques sur la santé.

2.2. Les champs statiques dans notre environnement

Les principales sources d'exposition aux CM statiques sont les caténaïres des transports électrifiés (trains, trams et métros). A proximité immédiate (intérieur d'un wagon), l'intensité d'exposition varie généralement entre 10 et 100 microteslas (μT) environ, intensité qui est à comparer avec celle du champ magnétique terrestre, de l'ordre de 50 μT sous nos latitudes. Cette intensité décroît assez rapidement avec l'éloignement aux caténaïres. Une source plus anecdotique pour la population générale est l'électro-aimant des appareils de résonance magnétique nucléaire (RMN) utilisés pour l'imagerie médicale, et dont le CM atteint le plus souvent des intensités de l'ordre de 1,5 à 3 Teslas, soit plus de 20.000 fois supérieures à celle du champ magnétique terrestre (3).

2.3. Effets connus sur l'organisme

On connaît divers effets des CM statiques sur la matière. Mais aux intensités qui nous concernent, soit $\leq 100 \mu\text{T}$, ces CM ne peuvent exercer une action perceptible que sur les animaux pourvus du sens de la magnétoréception.

2.4. Conséquences sur la santé

Les études réalisées à ce jour sur les conséquences des CM statiques sur la santé, n'ont investigué que les effets à court terme. A cet égard, des indications existent pour divers effets, essentiellement de type neurosensoriel, accessoirement d'ordre génétique, mais uniquement à partir d'intensités typiques de celles utilisées dans le cadre de la RMN (3). Il y a lieu ici de signaler que l'exposition au CM d'un appareil de RMN est toujours brève et est motivée par une décision médicale qui tient compte des avantages et inconvénients de toute procédure d'examen. Ainsi, en remplaçant bien souvent le scanner, la technique de la RMN a permis de diminuer fortement l'exposition médicale aux rayons X et l'accroissement du risque relatif de cancer qui lui est corrélé.

3. Champs EM d'extrêmement basse fréquence

3.1. Définitions

On appelle « extrêmement basses » les fréquences comprises entre 3 et 300 hertz (Hz). Les champs 50 Hz y sont largement dominants et c'est donc essentiellement d'eux qu'il est question dans ce chapitre. Ces champs 50 Hz sont générés par tout conducteur ou appareil électrique en fonctionnement. Comme pour ce qui concerne les champs statiques, et pour les mêmes raisons, seul le CM est seul retenu à ce jour pour caractériser l'impact éventuel sur la santé des champs EM en 50 Hz.

Les autres fréquences les plus représentées dans la gamme des fréquences extrêmement basse sont, notamment, le 16,7 Hz des voies ferrées. Mais les données d'exposition à ces champs sont insuffisantes et leur impact éventuel sur la santé n'a pas été étudié à suffisance.

3.2. Les champs 50 Hz dans notre environnement

Les CM 50 Hz existent à proximité de toute ligne de transport ou de distribution d'électricité, de tout poste de transformation, ainsi qu'à proximité de tout appareil électrique en fonctionnement. Cette intensité décroît assez rapidement avec l'éloignement à la source, le plus souvent en fonction inverse du carré de la distance R à la source (donc en $1/R^2$).

Suivent ici avec les intensités moyennes approximatives de CM 50 Hz dans quelques situations exemplatives d'exposition telles que rencontrées en région bruxelloise (la tension électrique est exprimée en kilovolts ou kV) (4-10):

- Bruit de fond résidentiel (à distance de tout appareil électrique en fonctionnement) : $\leq 0,1 \mu\text{T}$



- Proximité (30 cm) de divers appareils électriques en fonctionnement : 0,1 à 10 μT
- Cabine de transformation 10-15kV/220-400V: 0,4-2,5 μT à 2 m ; 0,2-2 μT à 4 m
- Poste de transformation $\geq 30\text{kV}/10-15\text{kV}$: > 1 μT à 4m ; 0,5 μT à 6 m
- Câble enterré à haute tension (150 kV) : 1 à 3,5 μT à l'aplomb ; 0,2 μT à 10m
- Ligne aérienne à haute tension (150 kV) : 1 μT à l'aplomb ; 0,5 μT à 30 m

3.3. Effets connus sur l'organisme

3.3.1. Effets directs et induction EM

A la fréquence de 50 Hz, un CM exerce sur l'organisme les mêmes actions qu'un champ statique. Mais aux intensités qui nous concernent (voir ci-dessus), la seule action possible de ce CM est l'impact sur le sens de la magnétoréception dont, jusqu'à preuve du contraire, seuls les animaux (y compris plusieurs mammifères) sont pourvus.

Par contre, dès qu'il est alternatif, le CM va causer le phénomène d'induction électromagnétique. Celui-ci est exploité dans l'industrie (transformateurs, alternateurs et moteurs électriques) et est caractérisé par l'apparition de courants induits dans le corps qui est soumis à ce CM, pour autant que ce corps soit conducteur d'électricité. L'intensité de ces courants induits est proportionnelle à la fréquence du CM. C'est sur base de cet effet, et en appliquant un facteur de sécurité, que la Commission européenne recommande que l'exposition de la population générale ne dépasse pas l'intensité de 100 μT en 50 Hz (11). Aux intensités qui existent dans notre environnement, les courants induits sont tout-à-fait négligeables dans le corps humain, étant toujours d'intensité très inférieure à celle des courants endogènes créés par les diverses activités cellulaires de nos tissus (1,11).

3.3.2. Effets indirects et courants de contact

Des effets des champs 50 Hz, et dûs cette fois essentiellement au champ électrique, sont aussi possibles lors du contact du corps avec un conducteur métallique (effets dits « indirects »). Ainsi, une personne entrant en contact avec une masse métallique non mise à la terre (ex : clôture) et située à proximité d'une ligne à haute tension sera le siège d'un courant de décharge si elle n'est pas elle-même isolée de la terre. En fonction de son intensité, ce courant provoquera, ou non, une sensation de décharge (le seuil de perception est d'environ 0,5 milliampères ou mA). A noter que la question reste posée d'effets éventuels sur la santé de contacts répétés de ce type dès 0,1 mA de courant de décharge, donc en-dessous du seuil de perception (12).

3.3.3. Interférences avec implants médicaux

Des courants peuvent être induits par les CM 50 Hz dans la boucle de détection d'un pacemaker. Mais aucune interférence préjudiciable n'est observée en-dessous de 100 μT environ (13). A ce propos, il faut signaler que les implants médicaux modernes présentent un blindage de plus en plus efficace contre les interférences des champs EM, quelle qu'en soit la fréquence

3.4. Conséquences pour la santé

Comme indiqué ci-dessus, aucun impact n'est attendu des CM 50 Hz sur la santé aux intensités d'exposition qui nous concernent. Pourtant, à la suite du constat, toujours inexpliqué à ce jour, d'une augmentation de la prévalence de la leucémie infantile à proximité des lignes à haute tension, de multiples études ont investigué la prévalence de divers problèmes de santé en rapport avec l'exposition à ces champs.

3.4.1. Etudes observationnelles

- *Maladie cancéreuse* : une association a été observée et confirmée entre une exposition résidentielle prolongée à une valeur de CM $\geq 0,4 \mu\text{T}$ et un doublement du risque de leucémie infantile avant l'âge de 15 ans (1,14). Plusieurs éléments suggèrent le rôle prépondérant de l'exposition nocturne de l'enfant dans cette association (15). Aucune association n'a par contre pu être confirmée, ni avec les cancers cérébraux chez l'enfant, ni avec aucun type de cancer chez l'adulte (1,14,16).
- *Maladies neuro-dégénératives* : des indications existent d'un doublement du risque de décès par maladie d'Alzheimer en rapport avec une exposition résidentielle prolongée (≥ 15 années) à une



intensité de CM que l'on peut évaluer à $\geq 0,5 \mu\text{T}$ environ. Mais le nombre restreints de cas observés ne permet pas encore de tirer des conclusions définitives à ce jour (17).

- *Reproduction et développement, Dépression nerveuse, maladies cardiovasculaires, troubles immunitaires et maladies hématologiques* : selon les études réalisées à ce jour, un impact de l'exposition paraît exclu pour les intensités d'exposition qui concernent la population générale. Seule ne peut être exclue la possibilité d'une augmentation du risque de fausses-couches chez la femme enceinte exposée à des valeurs dont les maxima atteignent $2 \mu\text{T}$ environ (1)

3.4.2. Etudes expérimentales

- *Maladie cancéreuse et effets génétiques* : les études cellulaires (*in vitro*) et animales (*in vivo*) effectuées à ce jour ont été négatives. Seules existent des indications d'un effet dit « co-carcinogène » pour des intensités $\geq 100 \mu\text{T}$ (16). Mais il faut noter qu'il n'existe toujours pas de modèle animal valide pour l'étude de la leucémie infantile (1).
- *Effets neurologiques et neuroendocriniens* : certains effets ont été observés sur le système nerveux central (statut antioxydant, électroencéphalogramme), mais pour des intensités $\geq 100 \mu\text{T}$ (16). D'autre part, un effet inhibiteur modéré sur la sécrétion nocturne de mélatonine est possible chez le rongeur dans le contexte d'une exposition prolongée, mais sans qu'un niveau précis d'exposition ne puisse être défini (1,18).

3.4.3. Conclusion

Malgré l'absence de mécanisme causal explicatif, on doit retenir que le risque de leucémie infantile, et peut-être aussi celui de décès par maladie d'Alzheimer, est doublé pour une exposition résidentielle prolongée à $\geq 0,4 \mu\text{T}$ d'intensité de CM 50 Hz. Tenant compte de la proportion probable d'enfants exposés à $\geq 0,4 \mu\text{T}$ et de l'incidence annuelle de la leucémie infantile dans notre pays, on peut supposer que les CM 50 Hz seraient « responsables » d'un peu moins d'un cas de leucémie infantile tous les 10 ans en région bruxelloise (5,19,20).

Les incertitudes actuelles concernent, d'une part, la responsabilité effective des CM 50 Hz dans la leucémie infantile, dans la mesure où aucun mécanisme d'action n'a pu être identifié pour ceux-ci à ce jour, et d'autre part, l'implication possible mais non encore certaine de ces champs dans l'évolution de la maladie d'Alzheimer. Par ailleurs, dans l'hypothèse où une relation causale était confirmée entre ces champs et les maladies citées ici, d'autres effets sanitaires non encore étudiés pourraient éventuellement aussi exister. Enfin, et toujours dans cette hypothèse, tout CM d'extrêmement basse fréquence pourrait alors également être concerné, en ce compris les CM 16,7 Hz des caténaires des voies ferrées (21).

3.5. Recommandations

Dans le but de limiter l'intensité d'exposition, en particulier nocturne, aux CM 50 Hz, et tout en gardant à l'esprit les incertitudes persistantes quant aux effets de ces CM sur la santé ainsi que l'impact limité de ceux-ci en termes de santé publique, il est justifié de conseiller les mesures suivantes, en particulier à l'attention des **enfants de moins de 15 ans et les femmes enceintes** (8,15):

- Eviter l'usage régulier d'une couverture chauffante ou d'un chauffage électrique par le sol dans la chambre à coucher ;
- Respecter les distances suivantes entre le lit et certains appareils ou dispositifs électriques à fonctionnement continu : 50 cm pour un réveil électrique, 1 mètre pour un tableau domestique ou un compteur d'énergie avec disque rotatif;
- Eviter l'installation d'une chambre à coucher dans une zone où la valeur moyenne du CM peut être égale ou supérieure à $0,4 \mu\text{T}$, c'est-à-dire à moins de :
 - 5,5 m par rapport à une cabine de transformation (10-15 kV/220-400 V),
 - 8 m par rapport à un poste de transformation (>30 kV/10-15 kV),
 - 43 m par rapport à une ligne aérienne de 150 kV,
 - 3,75 m par rapport à un câble enterré de 150 kV ;
- Eviter toute configuration d'installation domestique où phase et neutre d'un même circuit sont distants l'un de l'autre.



4. Champs EM de fréquence intermédiaire

Les fréquences situées entre 300 Hz et 100 kilohertz (kHz) sont dites « intermédiaires ». Comme en 50 Hz, c'est le champ magnétique qui retient l'attention.

4.1. Les fréquences intermédiaires dans notre environnement

Suivent ici les sources les plus courantes de ces fréquences dites « intermédiaires » en région bruxelloise avec, pour chacune, un ordre de grandeur d'intensité d'exposition (16,22,23) :

- Portique antiviol des magasins et détecteur de métaux (selon la fréquence de fonctionnement) : jusqu'à > 300 μ T (220 - 530 Hz) et jusqu'à > 20 μ T (58 - 132 kHz)
- Ecran cathodique des télévisions et d'ordinateurs (1 à 150 kHz) : < 0,05 μ T à 30 cm
- Plaques de cuisinière à induction (20 à 50 kHz) : 2 μ T à 5 cm et 0,2 μ T à 30 cm (intensités x 3 à 20 pour un récipient de diamètre inférieur à celui de la plaque et/ou en position décentrée sur celle-ci)
- Ampoule économique (entre 30 et 60 kHz) : < 0,03 μ T à 30 cm

4.2. Conséquences sur la santé

A ce jour, il n'existe que très peu de données concernant les effets des champs magnétiques à ces fréquences sur la santé. Seuls sont connus les effets liés à la génération de courants induits (voir CM 50 Hz), ceux-ci pouvant surtout être préjudiciables au niveau du système nerveux central. Ces effets motivent les niveaux limites recommandés par la Commission européenne pour la protection des personnes (11). Ce niveau varie en fonction de la fréquence et tient compte d'un facteur de sécurité. Il est ainsi de 6,25 μ T entre 800 Hz et 150 kHz, . Cette valeur limite peut donc être dépassée à proximité des portiques antiviol, des détecteurs de métaux ou des plaques de cuisson par induction (voir ci-avant). A noter qu'à proximité de ces dispositifs, des interférences sont possibles avec les dispositifs médicaux implantables (pacemakers et défibrillateurs implantables) (24,25).

4.3. Recommandations

Les recommandations que l'on peut formuler à ce jour concernent, d'une part, les **enfants** en raison de leur courte taille et donc de la plus grande proximité de leur tête (partie la plus sensible aux effets éventuels) avec les sources concernées, et d'autre part, les **porteurs de pacemaker ou de défibrillateur implantable** en raison des possibles interférences (24,25).

- Portique antiviol ou détecteur de métaux : y transiter sans y stationner ni frôler le dispositif.
- Plaques de cuisinière à induction : veiller au centrage et à l'adéquation du récipient de cuisson par rapport à la plaque et éviter la proximité immédiate (< 30 cm) durant la cuisson.

5. Champs et ondes EM en radiofréquence

5.1. Définitions et unités en radiofréquence

La plupart des systèmes de radio- et télécommunication, mais aussi de nombreux autres systèmes, utilisent le support des champs EM de la gamme des radiofréquences (RF), soit entre 100 kHz environ et 300 gigahertz (GHz). Cette gamme englobe les « micro-ondes » (300 mégahertz ou MHz à 300 GHz). A ces fréquences, les champs se combinent pour former un rayonnement EM dont la longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence, valant 300 m à la fréquence de 1 MHz et 30 cm à la fréquence de 1 GHz, par exemple. On exprime l'intensité d'exposition en valeur de champ électrique E (en Volts/mètre) ou, mieux, en densité de puissance incidente (en Watts/m²), celle-ci étant proportionnelle à E². Ainsi, avec l'éloignement à la source, alors que la valeur de E diminue en 1/R, celle de la puissance incidente diminue en 1/R². La dose de rayonnement reçue, quant à elle, est exprimée en valeur de débit de dose absorbée (dans un volume tissulaire de 10 cm³) ou *specific absorption rate* (SAR) dont l'unité est le watt par kilo de poids corporel (W/kg). Afin de pouvoir comparer entre elles les sources d'émission continue (antennes diverses, Wifi,...) avec les sources d'émission intermittente ou pulsée (combiné GSM, téléphone sans fil,...), les valeurs de SAR et de puissance incidente utilisées sont les valeurs moyennées dans le temps.



5.2. Les radiofréquences dans notre environnement

Suivent ici les sources de RF les plus représentées dans notre environnement, avec leur fréquence de fonctionnement. Dans le cas des sources distantes et/ou multiples, ce sont les intensités typiques d'exposition correspondante qui sont indiquées. A noter qu'aux fréquences du GSM et au-delà, l'intensité d'exposition est divisée par ≥ 2 derrière un mur, par ≥ 8 derrière une paroi en béton et par ≥ 10 derrière un mur doublé de placards métalliques. Dans le cas des sources proches de l'organisme, ce sont les intensités typiques de dose reçue (SAR) qui sont indiquées. A noter que l'absorption a lieu dans les tissus situés au voisinage immédiat de la source (voir ci-avant) (16,23,26,27,28). A noter également que le SAR varie, non seulement avec l'intensité d'exposition, mais aussi avec la fréquence. Ainsi, 1 W/m^2 (qui correspond à un champ électrique de 20 V/m environ) causera un SAR de 40 mW/kg environ aux fréquences de la radio FM (100 MHz) et de 10 mW/kg environ à la fréquence du GSM 1800 (1,8 GHz), ces chiffres étant à augmenter de 40% environ chez l'enfant (29).

Sources distantes et/ou multiples :

- Radiodiffusion AM et OC (525 kHz à 26 MHz), FM (87,5-108 MHz), et radio et télévision numérique (respectivement 175-230 MHz et 470-860 MHz) : $\leq 1 \text{ mW/m}^2$, toutes fréquences confondues
- Babyphone (440 et 860 MHz) : $\leq 50 \text{ mW/m}^2$ à 50 cm
- Poste de radioamateur (entre 2 et 430 MHz) et antenne d'émission du système TETRA (415-430 MHz): peu de données disponibles, mais il peut exister $\geq 100 \text{ mW/m}^2$ dans le voisinage immédiat
- Antenne GSM « panneau » typique de 16 watts (autour de 900 et - 950 MHz ; autour de 1.750 et - 1.850 MHz) à 20 m de distance: $\leq 100 \text{ mW/m}^2$ de face strict; $\leq 50 \text{ mW/m}^2$ de côté ($\geq 45^\circ$ par rapport à l'orientation du panneau) ; $< 10 \text{ mW/m}^2$ à l'aplomb. Si la distance est doublée, l'intensité est divisée par quatre. Si deux antennes de même orientation sont présentes ou si la puissance de l'antenne est multipliée par deux, ces chiffres sont à multiplier par deux.
- Station de téléphone sans fil domestique (DECT, 1.900 MHz) : $< 1 \text{ mW/m}^2$ à 1 m
- Antenne UMTS (autour de 1.950 et de 2.150 MHz) : intensité équivalant au huitième environ de celle qui est causée par une antenne GSM telle que décrite ci-dessus.
- Routeur domestique sans fil (Wifi, 2,4 GHz) : $\leq 3 \text{ mW/m}^2$ à 1 m
- Systèmes divers à courte portée (interphonie ou microphones sans fil, alarmes et détecteurs de mouvement) : intensité négligeable

Sources proches :

- Portiques antivols en RF : $0,4$ à 10 mW/kg (10 MHz) ; $0,5$ à 20 mW/kg (1 GHz).
- Walkie-talkie (entre 30 et 900 MHz, dont les fréquences TETRA): $\geq 2 \text{ W/kg}$
- Combiné GSM contre l'oreille : 10 à 100 mW/kg et au maximum $0,2$ à $1,5 \text{ W/kg}$ (en cas de mauvaises conditions de transmission et selon le modèle)
- Combiné DECT (téléphone sans fil domestique) : 10 à 30 mW/kg
- Ordinateur portable avec carte Wifi : 50 à 400 mW/kg
- Système Bluetooth (2,4 GHz) : 1 à 3 mW/kg (oreillette) ; 10 à 500 mW/kg (clef USB)
- Four micro-ondes (2,45 GHz) : 5 mW/kg à 30 cm

Une récente campagne de mesures de l'exposition des personnes en milieu urbain dans différentes villes européennes rapporte les intensités moyennes suivantes : $\leq 0,1 \text{ mW/m}^2$ en milieu intérieur résidentiel, $\leq 0,5 \text{ mW/m}^2$ en milieu extérieur, entre $0,5$ et $1,5 \text{ mW/m}^2$ dans l'habitacle d'un véhicule automobile ou d'un autobus et jusqu'à 1 mW/m^2 dans un wagon de chemin de fer. Les fréquences les plus représentées sont celles du GSM et du téléphone sans fil domestique (30). A noter que les sources de RF sont en essor constant. Quelques exemples de sources récentes sont : la fourniture de liaison Internet par ondes (Wimax : $\geq 2,5 \text{ GHz}$), certaines technologies de communication sans fil ou de détection (UWB), les systèmes d'identification de marchandises et de personnes par RF (RFID : entre $13,5 \text{ MHz}$ et $2,45 \text{ GHz}$), le protocole de liaison Internet sans fil Hiperlan ($5,2 \text{ GHz}$), etc.. Ne sont



pas envisagées ici certaines sources particulières peu ou pas représentées en région bruxelloise (applications militaires notamment, dont les radars).

5.3. Effets connus sur l'organisme

5.3.1. Effets thermiques

Au contraire des champs magnétiques qui pénètrent indifféremment nos tissus, les ondes EM sont influencées par la présence du corps humain. Ainsi, au contact de la peau, elles sont partiellement réfléchies et partiellement pénétrantes, et ce, jusqu'à une profondeur qui varie en fonction inverse de la fréquence. Aux fréquences de la FM (100 MHz) par exemple, les tissus n'absorbent que moyennement l'énergie de l'onde pénétrante, de sorte que l'on retrouve encore 10% de celle-ci à 10 cm de profondeur. Aux fréquences du GSM 1800 (1,8 GHz), par contre, les tissus absorbent beaucoup plus avidement cette énergie, la totalité de celle-ci étant alors absorbée endéans les 2 premiers centimètres de profondeur. L'absorption dont il est question ici est le résultat de la transformation de l'énergie EM de l'onde en énergie thermique. Il y a donc production locale de chaleur, du moins au-delà d'un certain seuil d'intensité. C'est le principe du four à micro-ondes. C'est aussi ce qui sert de base au calcul des niveaux de SAR recommandés par la Commission européenne pour l'exposition des personnes : tenant compte d'un facteur de sécurité, les niveaux à ne pas dépasser sont de 80 mW/kg pour l'exposition du corps entier, et de 2 W/kg pour l'exposition locale de la tête ou du tronc (11). En 2005, considérant les émetteurs publics et l'exposition du corps entier, le Gouvernement belge a imposé la limite légale de 20 mW/kg (31). Et en 2007, considérant les mêmes critères, la Région bruxelloise a imposé la limite de 3 V/m, ce qui correspond à 0,4 mW/kg à la fréquence de 900 MHz (32).

5.3.2. Effets non thermiques

A côté des mécanismes dits « thermiques » (liés à la transformation en chaleur), de multiples mécanismes ont été proposés pour l'interaction des RF avec les tissus vivants afin, notamment, de tenter d'expliquer certains effets qui ont été rapportés pour des SAR inférieurs à environ 4 W/kg (valeur en-deçà de laquelle aucun échauffement significatif n'est observé). Parmi ces mécanismes, deux sont toujours à l'étude. Le premier, que l'on pourrait appeler « micro-thermique », est lié à la nature tout-à-fait particulière de la production de chaleur sous exposition aux RF. Il pourrait expliquer certains effets survenant pour des valeurs de SAR légèrement inférieures au seuil thermique (33). Le deuxième appartient aux hypothèses de mécanismes dits « athermiques », c-à-d non liés à la transformation de l'énergie EM en chaleur. Il suppose un phénomène dit de « résonance » entre certaines basses fréquences contenues dans le « signal » de l'onde EM et certaines fréquences biologiques. S'il était avéré, ce mécanisme pourrait rendre compte d'effets pour des valeurs de SAR très inférieures au seuil thermique. Mais de nombreuses considérations théoriques rendent son existence peu vraisemblable (2). Par contre, la possibilité existe d'effets liés aux basses fréquences, non pas de l'émission du combiné GSM, mais bien des décharges de la batterie de celui-ci. Celles-ci génèrent en effet des CM qui, à leur tour, créent des courants induits d'intensité non négligeable dans la tête (34). Il ne s'agit donc pas ici d'un phénomène de résonance. A ce jour, cependant, cet effet n'a pas encore été suffisamment étudié.

5.3.3. Interférences avec implants médicaux

Certaines sources peuvent exposer à des intensités de RF qui sont en principe susceptibles de causer des interférences avec les appareils médicaux implantables (pacemaker, défibrillateur implantable), mais uniquement à leur proximité immédiate. Il s'agit des combinés GSM, de certaines stations de base de téléphone sans fil DECT ou encore de systèmes de détection fonctionnant en RF (portiques antivols, RFID) (23,25,28). En ce qui concerne les combinés GSM, seuls quelques incidents sans conséquences ont cependant été relevés (35).

5.4. Conséquences sur la santé

Malgré l'absence de mécanisme évident d'interaction entre les RF et les tissus vivants aux intensités auxquelles tout un chacun peut être exposé, de très nombreuses études se sont penchées sur la question d'effets sur la santé à ces intensités..



5.4.1. Etudes observationnelles

- *Maladie cancéreuse* : deux études ont interrogé la prévalence de leucémie infantile à proximité d'émetteurs radio AM et FM, mais n'ont pas rapporté d'accroissement du risque (16). De nombreuses études se sont penchées sur la question du risque de tumeur cérébrale ou salivaire (bénigne ou maligne) en relation avec l'usage du téléphone portable, en ce compris le GSM. A ce jour, et malgré les multiples imperfections de la méthodologie d'évaluation de l'exposition des sujets, on s'accorde à dire que, pour le GSM, il n'y a pas de risque accru de telles tumeurs pour une durée d'usage d'un peu plus de 10 ans (recul disponible au moment de la rédaction de la présente fiche). Seule une légère augmentation du risque de gliome voire de neurinome de l'acoustique, paraît non exclue pour plus de 10 ans d'usage « intensif » (≥ 30 minutes/jour). A noter que la majorité des cas étudiés à ce jour a concerné des usagers du téléphone analogique « NMT » utilisé jusqu'il y a peu dans les pays scandinaves notamment. Ce dernier expose son utilisateur à des valeurs de SAR 10 à 20 x plus élevées que le combiné GSM moderne. Dans la mesure où un délai de 20 ans peut s'écouler entre l'induction et le diagnostic de telles tumeurs cérébrales et que ce délai n'est pas encore atteint en 2011 (la généralisation de l'usage du GSM date du milieu des années '90), la conclusion est qu'il faut donc continuer à suivre la tendance de la prévalence de telles tumeurs dans la population (16,36,37,38)

5.4.2. Etudes expérimentales

- *Maladie cancéreuse* : de nombreuses études *in vivo* ont analysé les effets de l'exposition chronique de rongeurs (durées souvent équivalentes à une durée de vie) pour des valeurs de SAR allant jusqu'à 4 W/kg (exposition corps entier). Les résultats ont été globalement négatifs, y compris en termes plus généraux de mortalité (16,39). L'absence d'effets pour de telles valeurs de SAR toute une vie durant paraît plutôt rassurante. Néanmoins, l'incertitude persiste quant à la possibilité d'extrapoler tels quels ces résultats à l'Homme, notamment en raison de l'impossibilité à ce jour de définir les modèles animaux adéquats (16,39).
- *Effets génétiques et cellulaires divers* : de nombreuses études *in vivo* et *in vitro* ont investigué la possibilité de lésions génétiques, de modification de l'expression de multiples gènes ou protéines, de perturbation du cycle cellulaire ou encore de certaines activités enzymatiques. De tels types d'études permettent de détecter avec plus de sensibilité le caractère toxique éventuel de tout agent physique ou chimique. Les valeurs de SAR utilisées allaient jusqu'à ≥ 4 W/kg. Globalement, et tenant compte de fréquentes 'imprécisions et erreurs méthodologiques', on doit conclure à l'absence d'effets pour les intensités auxquelles la population générale est exposée, c'est-à-dire pour des intensités qui ne causent pas d'échauffement tissulaire significatif (16,33,40).
- *Autres Effets* : de très nombreuses études ont interrogé la possibilité d'effets neurophysiologiques ainsi que de la perception des RF. Ces études sont évoquées dans la fiche *Electrosensibilité ou intolérance aux champs électromagnétiques*. Parmi les autres effets étudiés à suffisance, une augmentation de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique, et donc un risque de toxicité cérébrale, avait été suggérée sous exposition aux RF. Egalement, plusieurs études se sont penchées sur un possible impact des RF sur la fertilité et le développement. Mais de tels effets ne paraissent en définitive possible qu'à la condition d'un véritable échauffement tissulaire (16,41). Enfin, une récente étude rapporte une augmentation du métabolisme cérébral sous exposition prolongée aux champs EM du GSM. La signification de ce phénomène en termes de santé n'est cependant pas connue à ce jour (42).

5.4.3. Conclusions

Les études expérimentales n'ont pas pu montrer de risque sanitaire pour les intensités maximales d'exposition auxquelles la population générale peut être soumise, à savoir, lors de l'usage d'un combiné GSM tenu contre l'oreille. Il en va *a fortiori* de même pour ce qui concerne la proximité d'antennes GSM, par exemple, puisque l'intensité d'exposition y est > 100 à 1.000 fois moindre (voir ci-dessus).

A ce jour, cependant, l'incertitude persiste quant aux effets à long terme de l'usage régulier et intensif d'émetteurs de RF tenus à proximité immédiate du corps (Walkie-talkie, GSM, carte Wifi, clef USB Bluetooth, téléphone DECT), une augmentation du risque de cancer n'étant pas exclue dans ces conditions. Par ailleurs, une certitude concerne l'augmentation du risque d'accident de roulage lors de l'utilisation du GSM au volant, avec ou sans car-kit « mains libres » (43).



5.5. Recommandations

5.5.1. Usage du GSM au volant

En raison du risque accru d'accident de roulage, une recommandation à **tout conducteur de véhicule** est d'éviter l'usage du GSM au volant, avec ou sans car-kit « mains libres » (43).

5.5.2. Usage du GSM et de tout autre émetteur de RF

En raison de l'incertitude persistante quant aux effets éventuels de l'exposition prolongée aux RF au-delà d'une certaine intensité, que l'on ne peut définir à ce jour, quelques recommandations concernent **tout un chacun**, et **en particulier les enfants et les adolescents** dont le cerveau, mais aussi les autres organes, sont en développement et donc, davantage sensibles à toute influence délétère (44):

- GSM : éviter son usage intensif et prolongé ; changer régulièrement de côté d'usage ; privilégier l'usage du système Bluetooth ou d'une oreillette, mais pour autant que le combiné GSM soit distant ($\geq 15-20$ cm) du corps ; privilégier l'envoi de SMS ; éviter l'usage en situation de déplacement rapide (auto) ; éviter l'usage dans de mauvaises conditions de communication (sous-sol de bâtiment en béton armé, cage d'ascenseur, habitacle de voiture, indication de faible signal, etc.).
- Téléphone sans fil domestique : éviter son usage intensif ; changer régulièrement de côté d'usage.
- Walkie-talkie : éviter son usage régulier.
- Routeur sans fil, clef USB Bluetooth de longue portée (classe 1, > 40 m), carte Wifi pour ordinateur : choisir de ne pas dépasser la valeur de $3V/m$, par exemple, équivaut à respecter une distance de ≥ 25 cm environ par rapport à ces sources.
- Four à micro-ondes : respecter une distance de ≥ 50 cm durant son fonctionnement.

5.5.3. Bébés et jeunes enfants

En raison de l'incertitude mentionnée ci-avant, quelques recommandations particulières concernent les **bébés et les jeunes enfants** (moins de 2 ans), dont le cerveau est en phase de développement morphologique et est donc particulièrement sensible à toute influence délétère :

- GSM et téléphone sans fil : éviter leur usage autant que possible.
- Babyphone : choisir de ne pas dépasser la valeur de $3V/m$, par exemple, équivaut à conseiller une distance d'au moins un mètre.

5.5.4. Porteurs d'implants médicaux

Quelques recommandations concernent enfin les **porteurs de pacemaker ou de défibrillateur implantable** en raison des possibles interférences (25,35) :

- GSM ou téléphone sans fil domestique : l'utiliser à l'oreille du côté opposé à celui de l'implant, et en tout cas, respecter une distance de ≥ 15 à 20 par rapport à celui-ci.
- Portique antiviol ou détecteur de métaux : y transiter sans y stationner ; ne pas frôler le dispositif de la poitrine, ni tout autre détecteur utilisant les RF (RFID, etc.).

6. Ressources

6.1. Informations concernant les effets des champs EM sur la santé

6.1.1. Outil pédagogique à destination du public :

- Brochure du SPF Santé publique: Les champs électromagnétiques et la santé (2009). www.health.belgium.be/eportal/Environment/Electromagneticfields/index.htm?fodnlang=fr

6.1.2. Avis à destination du public et des professionnels de la santé :

- Centre International pour la Recherche contre le Cancer :



- Champs électrique et magnétiques statiques et d'extrêmement basse fréquence (2002). monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/volume80.pdf
- Publication de l'étude Interphone sur l'utilisation des téléphones portables et le risque de cancer du cerveau (2010). www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2010/pdfs/pr200_F.pdf
- Avis du Comité scientifique européen pour les risques sanitaires émergents ou nouvellement identifiés (SCENIHR): Health Effects of Exposure to EMF (2009). ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
- Avis du Conseil Supérieur belge de la Santé www.health.belgium.be/eportal/Aboutus/relatedinstitutions/SuperiorHealthCouncil/?fodnlang=fr :
 - Recommandations concernant l'exposition de la population aux champs magnétiques émanant des installations électriques. Publication n°8081 (2008).
 - Recommandation concernant l'usage du téléphone mobile (GSM) par la population générale (CSH 6.605/5, 2004)

6.1.3. Avis à destination des porteurs de pacemaker :

- American Heart Association: Devices that may interfere with pacemakers (2010). www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Arrhythmia/PreventionTreatmentofArrhythmia/Devices-that-may-Interfere-with-Pacemakers_UCM_302013_Article.jsp

6.2. Informations concernant l'exposition aux champs EM

6.2.1. Exposition aux appareils domestiques :

- Belgian Bioelectromagnetic Group : Valeur du champ électrique (V/m) et de l'induction magnétique (μ T) générés par les appareils électrodomestiques à fréquence industrielle (50 Hz). www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmmaison.html
- Office fédéral de la santé publique, Confédération Suisse : Fiche d'information CEM (toutes fréquences). www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/index.html?lang=fr

6.2.2. Exposition aux antennes GSM :

- Bruxelles Environnement - IBGE: folder d'information sur les antennes émettrices, également disponible auprès des administrations communales.
- Bruxelles Environnement - IBGE: informations sur les antennes existantes et évaluation de l'exposition aux champs EM émis par celles-ci. www.bruxellesenvironnement.be > Particuliers > Ondes électromagnétiques.

6.2.3. Frequently asked questions :

- Bruxelles Environnement - IBGE. www.bruxellesenvironnement.be > Particuliers > Ondes électromagnétiques > FAQs.

6.3. Services de mesure d'exposition aux champs EM

6.3.1. Service public (gratuit) :

- Bruxelles Environnement – IBGE. Tel :02/775 75 11, www.bruxellesenvironnement.be
- GD-EMF-Consulting, Tel: 011/27 26 87, www.gd-emf-consulting.be
- IBBT – WiCa (Université de Gand), Tel : 09/331 49 18 www.wica.intec.ugent.be



Sources

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007. «Extremely low frequency fields». Environmental Health Criteria 238. <http://www.who.int/peh-emf/publications/Comple DEC 2007.pdf>
2. SHEPPARD A.R., SWICORD M.L., BALZANO Q., 2008. «Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes». Health Phys, 95(4):365-96.
3. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006. «Static fields». Environmental Health Criteria 232. http://www.who.int/peh-emf/publications/EHC_232_Static_Fields_full_document.pdf
4. BELGIAN BIOELECTROMAGNETIC GROUP, «Valeur du champ électrique (V/m) et de l'induction magnétique (μT) générés par les appareils électrodomestiques à fréquence industrielle (50 Hz)». www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmmaison.html
5. DECAT G., VAN DEN HEUVEL I., MULPAS L., 2005. «Monitoring survey of the 50 Hz magnetic field for the estimation of the proportion of Belgian children exposed to the epidemiological cut-off points of 0.2, 0.3, and 0.4 microtesla». Final report of the BBEMG research contract (July 2001 – June 2005).
6. DECAT G., 2007. «Basisdocument ELF-project Hoge gezondheidsraad: Blootstelling van het publiek aan 50 Hz elektromagnetische velden van Belgische hoogspanningslijnen: een overzicht en aanbevelingen». Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek.
7. DECAT G., MEYEN G., PEETERS E., VAN ESCH L., DECKX L., MARIS U., 2007. «Modellering en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen». Eindrapport van een studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Vlaamse Instelling voor Technologisch onderzoek, 2007/IMS/R/426.
8. JOSEPH W., VERLOOCK L., MARTENS L., 2006. «analyse van de blootstelling van de mens aan elektromagnetische velden in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest». Studieopdracht, B.I.M/2006531.01.01.999/EM.
9. JOSEPH W., VERLOOCK L., MARTENS L., 2008. «Measurements of ELF electromagnetic exposure of the general public from Belgian power distribution substations». Health Phys, 94(1):57-66.
10. SALINAS E., 2003. «Field mitigation from secondary substations». In: Round table on magnetic field mitigation techniques. Congrès International des Réseaux Électriques de Distribution. www.cired.be/CIREDO3/data/session2_beta/RT2-A.doc
11. EUROPEAN COUNCIL, «Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)». 1999/519/EC. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/files/lv/rec519_en.pdf
12. LILIE J.L., DULAR P., SABARIEGO R.V., BEAUVOIS V., BARBIER P.P., LORPHEVRE R., 2008. «Effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF) on human beings. An electrical engineer viewpoint». Rev E Tijdschrift, 124(3):34-50.
13. TRIGANO A., BLANDEAU O., SOUQUES M., GERNEZ J.P., MAGNE I., 2005. «clinical study of interference with cardiac pacemakers by a magnetic field at power line frequencies». J Am Coll Cardiol, 45(6):896-900.
14. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2002. Non-ionizing radiation, part1: «static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields». IARC Monograph 80 on the evaluation of the carcinogenic risks to humans. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/mono80.pdf>
15. CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA SANTÉ, 2008. «Recommandations concernant l'exposition de la population aux champs magnétiques émanant des installations électriques». Publication n° 8081. http://www.health.belgium.be/internet2Prd/groups/public/@public/@shc/documents/ie2divers/15954532_fr.pdf



16. SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS, 2009. «Health Effects of Exposure to EMF». European Commission. Health & Consumer Protection Directorate general.
http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_022.pdf
17. HUSS A., SPOERRI A., EGGER M., RÖÖSLI M., SWISS NATIONAL COHORT STUDY, 2009. «Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population». Am J Epidemiol, 169(2):167-175.
18. INDEPENDENT ADVISORY GROUP ON NON-IONISING RADIATION, 2006. «Power Frequency Electromagnetic Fields, Melatonin and the Risk of Breast Cancer». Documents of the Health Protection Agency. Series B: Radiation, Chemical and Environmental Hazards.
http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1204286180274
19. DECAT G., MEYEN G., PEETERS E., VAN ESCH L., DECKX L., MARIS U., 2007. «Resultaten van het gemeten magnetisch veld. In Modelleren en GIS-toepassing voor het bepalen van de blootstelling en het epidemiologisch risico van het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door de ondergrondse hoogspanningskabels in Vlaanderen». Onderzoeksopdracht van Vlaamse Milieumaatschappij. Eindrapport 2007/IMS/R/426.
20. VAN OYEN H., HAELTERMAN M., TAFFOREAU J., 1994. «Secular trends in childhood leukaemia in Belgium», 1984-1990. Arch Public Health, 52:499-510.
21. SCHÜZ J., GRIGAT J.P., BRINKMANN K., MICHAELIS J., 2001. «Childhood acute leukaemia and residential 16.7 Hz magnetic fields in Germany». Br J Cancer, 84(5):697-699.
22. VIELLARD C., ROMANN A., LOTT U., KUSTER N., 2007. «B-field exposure from induction cooking appliance». Foundation for Research on Information Technologies. Zurich.
23. HARRIS C., BOIVIN W., BOYD S., COLETTA J., KERR L., KEMPA K., ARONOW S., 2000. «Electromagnetic field strength levels surrounding electronic article surveillance (EAS) systems». Health Phys, 78(1):21-27.
24. IRNICH W., BERNSTEIN A.D., 2006. «Do induction cooktops interfere with cardiac pacemakers? » Europace, 8(5):377-384.
25. AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2010. «Devices that may interfere with pacemakers». www.heart.org/HEARTORG/Conditions/Arrhythmia/PreventionTreatmentofArrhythmia/Devices-that-may-Interfere-with-Pacemakers_UCM_302013_Article.jsp
26. JOSEPH W., VERMEEREN G., VERLOOCK L., HEREDIA L., MARTENS L., 2008. «Characterization of personal RF electromagnetic field exposure and actual absorption of the general public». Health Phys, 95(3):317-330.
27. WIART J., DALE C., BOSISIO A.V., LE CORNEC A., 2000. «Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones». IEEE Trans Electromagn Compat, 42(4):376-84.
28. OFFICE FÉDÉRAL DE LA SANTÉ PUBLIQUE, CONFÉDÉRATION SUISSE, «Fiche d'information CEM». www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/index.html?lang=fr
29. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, «Dosimetry of high frequency electromagnetic fields». In: Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). ICNIRP 16/2009.
30. JOSEPH W., FREI P., RÖÖSLI M., THURO'CYZ G., GAJSEK P., TRCEK T., BOLTE J., VERMEEREN G., MOHLER E., JUHA'SZ P., FINTA V., MARTEN L., 2010. «Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe». Environ Res, 110(7):658-663.
31. SERVICE PUBLIC FEDERAL SANTE PUBLIQUE, SECURITE DE LA CHAINE ALIMENTAIRE ET ENVIRONNEMENT, 2005. «Arrêté royal fixant la norme pour les antennes émettant des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz». [C - 2005/22777] F. 2005 — 2394.
<http://www.milieugezondheid.be/dossiers/gsm/KBGSM2005.pdf>



32. MINISTÈRE DE LA RÉGION DE BRUXELLES CAPITAL, 2007. «Ordonnance relative à la protection de l'environnement contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les radiations non ionisantes». [S – C – 2007/31104] F. 2007 — 1165. <http://reflex.raadvst-consetat.be/reflex/pdf/Mbbs/2007/03/14/103579.pdf>
33. VANDERSTRAETEN J., VERSCHAEVE L., 2008. «Gene and protein expression following exposure to radiofrequency fields from mobile phones». *Environ Health Perspect*, 116(9):1131-1135.
34. JOKELA K., PURANEN L., SIHVONEN A., 2004. «Assessment of the magnetic field exposure due to the battery current of digital mobile phones». *Health Phys*, 86(1):56-66.
35. FRANCIS J., NIEHAUS M., 2006. «Interference between cellular telephones and implantable rhythm devices: a review on recent papers». *Ind Pacing Electrophysiol J*, 6(4):226-33.
36. AHLBOM A., FEYCHTING M., GREEN A., KHEIFETS L., SAVITZ D.A., SWERDLOW A.J., INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, 2009. «Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk. A review». *Epidemiology*, 20(5):639-52.
37. KUNDI M., 2009. «The controversy about a possible relationship between mobile phone use and cancer». *Environ Health Perspect*, 117(3):316-24.
38. THE INTERPHONE STUDY GROUP, 2010. «Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE case-control study». *Int J Epidemiol*, 39(3):675-94.
39. JUUTILAINEN J., HEIKKINEN P., LAGROYE I., MIYAKOSHI J., VAN RONGEN E., SAUNDERS R., DE SEZE R., TENFORDE T., VERSCHAEVE L., VEYRET B., XU Z., 2010. «Experimental studies on carcinogenicity of radiofrequency radiation in animals». *Crit Rev Environ Sci Technol*, In press.
40. VERSCHAEVE L., JUUTILAINEN J., LAGROYE I., MIYAKOSHI J., SAUNDERS R., DE SEZE R., TENFORDE T., VAN RONGEN E., VEYRET B., XU Z., 2010. «In vitro and in vivo genotoxicity of radiofrequency fields». *Mut Res*, 705(3):252-68.
41. STAM R., 2010. «Electromagnetic fields and the blood-brain barrier». *Brain Res Rev* 65(1):80-97.
42. VOLKOW N.D., TOMASI D., WANG G.J., VASKA P., FOWLER J.S., TELANG F., ALEXOFF D., LOGAN J., WONG C., 2011. «Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism». *JAMA*, 305(8):808-13.
43. COLLET C., GUILLOT A., PETIT C., 2010. «Phoning while driving I: a review of epidemiological, psychological, behavioral and physiological studies». *Ergonomics*, 53(5):589-601.
44. CONSEIL SUPÉRIEUR D'HYGIÈNE, «Recommandation du 12 mars 2004 concernant l'usage du téléphone mobile (GSM) par la population générale» (CSH 6.605/5). https://portal.health.fgov.be/pls/portal/docs/PAGE/INTERNET_PG/HOMEPAGE_MENU/ABOUTU_S1_MENU/INSTITUTIONSAPPARENTEES1_MENU/HOGEGEZONDHEIDSRaad1_MENU/ADVIEZENENAANBEVELINGEN1_MENU/ADVIEZENENAANBEVELINGEN1_DOCS/6605-5%20GSM%20ET%20POPUL%20G%C3%89N%C3%89R_FR2004.PDF

Autres fiches à consulter

La thématique "Interface Santé et Environnement"

- 34. Leucémie.
- 37. Electrosensibilité ou intolérance aux champs électromagnétiques.
- Méthodologie de mesure des champs électromagnétiques (publication attendue en juin 2012).
- Législation en matière d'exposition aux champs électromagnétiques (publication attendue en juin 2012).



Auteur de la fiche

VANDERSTRAETEN Jacques

Relecture

DECLERCK Priscilla (IBGE), DE BRAECKELEER Ludwig (IBGE), KNECHIAK Cécile (IBGE),
BOULAND Catherine (ULB)

Productiedatum: avril 2011