

TELECOMS HEALTH RELATED ASPECTS : STATE OF THE ART IN THE FIELD OF RESEARCH

Madeleine Bastide, Immunologie, Professeur Emérite, Université Montpellier 1, France

LES TRAVAUX PUBLIES

La dernière édition des recommandations de l'ICNIRP (Commission Internationale pour la protection contre les radiations non ionisantes) après analyse de plus de 200 publications scientifiques (études épidémiologiques et études d'effets biologiques confondues) a conclu à une absence de preuves d'effets sur la santé. Il faut cependant préciser que parmi les travaux évalués par cette commission, beaucoup montrent des résultats d'effets réels soit sur la santé (épidémiologie) soit sur des organismes vivants (effets biologiques). Les normes proposées ne tiennent compte que des effets thermiques et ne limitent les puissances que pour les effets à court terme. Ces normes, actuellement imposées aux USA, sont recommandées par la Commission Européenne et sont également en vigueur en France. L'hétérogénéité dans le monde des normes standard d'exposition est à souligner (exprimées en densité de puissance) puisqu'elles vont de $0,001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (New South Wales en Australie) jusqu'à $1000 - 10000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ au Royaume Uni (normes courantes aux USA et en Europe de 200 à $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$). Il convient d'emblée d'observer que ces normes ne tiennent pas compte des effets non thermiques, des actions prolongées avec risques d'accumulation, de la modulation par les basses fréquences (ELF), ou des effets potentiellement liés à des faibles absorptions spécifiques (ex : on ignore tout de l'effet à distance de 50m d'une station de base relais avec un SAR = $1\text{mW}/\text{kg}$ qui correspond à une densité de puissance de $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ donc bien inférieur aux normes préconisées). D'autres instances ont analysé les effets des champs électromagnétiques sur la santé : par exemple, l'IARC (Agency for Research on Cancer) et d'autres groupes de travail ont souligné que les champs électromagnétiques (ELF) pouvaient avoir un effet carcinogène potentiel chez l'homme, en précisant qu'il s'agirait plutôt de pathologies de type leucémie en particulier chez l'enfant et non de tumeurs solides. Les champs incriminés sont résidentiels ; cet organisme va publier ses conclusions sur les champs de radiofréquence.

Pour simplifier l'analyse des effets des champs électromagnétiques de radiofréquence sur la santé, il faut considérer : l'effet thermique et l'effet non thermique ; l'effet biologique et l'effet épidémiologique ; l'effet des hautes fréquences (micro-ondes) et des basses fréquences émises par les téléphones GSM ou les antennes-relais en précisant tous les paramètres (intensité, fréquence, durée d'exposition, nature du sujet receveur, absorption spécifique, effet chronique, etc...)

Une analyse des derniers travaux publiés fait apparaître deux caractéristiques : la majeure partie de ces travaux utilise des champs simulés de l'appareil étudié (téléphone GSM) ou des fréquences artificiellement sélectionnées ; les supports d'études sont des humains volontaires ou des supports (cellules) d'origine humaine, ou des animaux. La contradiction entre les résultats obtenus existe toujours, avec des expérimentations démontrant un effet réel et d'autres infirmant cet effet. Les résultats récents publiés sont résumés ci-dessous :

EFFETS BIOLOGIQUES

Présence d'effets biologiques :

-Effets dus à des expositions à de faible intensité :

Sur des cellules : augmentation des protéines de stress {1, 2}, diminution de la prolifération cellulaire {3} ;

Sur des animaux : souris moins reproductrices avec stérilité à la 5^e génération {4} ; sensibilisation des animaux au long terme ce qui entraîne des effets pour des seuils de densité de puissance bien inférieurs aux normes . A ce jour, très peu d'expérimentation au long terme ont été réalisées.

-Effets dus à l'exposition globale de téléphones GSM :

Chez des sujets volontaires : modification de la production de mélatonine (évaluée indirectement par l'excrétion du métabolite urinaire) {5} ; modification de la fonction neuronale selon la durée d'utilisation {6} ; augmentation de la performance cognitive et de la capacité d'attention {7} ; effet positif sur la vigilance dans la narcolepsie {8} ; augmentation de l'attention {9} ; modification du flux sanguin cérébral lors de l'éveil et de l'électro-encéphalogramme du sommeil ou de l'éveil {10}.

Chez des animaux : effet létal sur des embryons de poulets par action continue de GSM en phase d'appel {11} ; modification de la perméabilité de la barrière méningo-encéphalique {12}.

Sur des cellules : modification de l'expression génique, de la prolifération et de la morphologie chez des fibroblastes cutanés humains {13} ; activation non thermique de la protéine de stress HSP 27 dans les cellules endothéliales (conséquence possible de la détérioration du tissu cérébral) {14} ; modification du stress oxydatif des radicaux libres par augmentation de la peroxydation lipidique et diminution de la SOD dans des érythrocytes humains {15} ; génotoxicité sur des lymphocytes humains {16} ; altération de l'activité électrique de l'hippocampe (siège cérébral de la mémoire à court terme) chez le rat sans effet thermique {17} ; effet génotoxique sur des leucocytes périphériques humains pour un SAR de 5,0 W/kg {18} .

-Effets observés après exposition à des radiofréquences spécifiques:

Sur des animaux : action d'ELF sur la diminution de HSP 70 donc diminution de la cytoprotection chez l'embryon de poulet {19} ; augmentation de la SOD et diminution du NO dans les cerveaux de lapin exposés {20} ;

Absence d'effets biologiques observés :

-Effets dus à l'exposition globale de téléphones GSM :

Chez des sujets volontaires : pas d'effet du GSM sur les facultés auditives {21} ; pas d'effet sur le taux de mélatonine {22} ; pas d'effet sur divers paramètres hormonaux ou cardiovasculaires {23} ou sur des paramètres immunitaires {24} ; pas de relation avec le mélanome malin oculaire {25} ; absence d'hypersensibilité chez des sujets exposés et absence de symptômes subjectifs comparés au témoins {26} et {27} .

Sur des animaux : pas de stimulation du développement de tumeurs induites par le diméthylbenzène(a)anthracène (DMBA) chez le rat {28} ; ruptures négligeables de la barrière méningo-encéphalique de la souris après effets prolongés {29} ; pas de différence dans des performances d'apprentissage chez le rat {30}.

Sur des cellules : pas de modification du calcium dans les cellules tumorales Jurkat {31} ; pas d'effets cytogénétiques dans les lymphocytes humains {32} .

-Effets observés après exposition à des radiofréquences spécifiques:

Sur des cellules : pas de transformation néoplasique de cellules C3H10T (835,62 MHz FDMA et 847,74 MHz CDMA){33} ; pas d'induction de micronoyaux dans les cellules du sang périphérique ou les cellules médullaires de rats exposés à 2450 MHz {34} ou humaines à 847,74 MHz {35 ,36 } ; pas d'induction de micronuclei chez les cellules C3H10T(1/2){34} à 835,62 MHz FDMA et 847,74 MHz CDMA{37} .

Sur des animaux : pas d'augmentation de l'incidence de lymphomes chez des souris transgéniques E-mu-Pim-1 après exposition prolongée aux micro-ondes 898,4 MHz{38} .

ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES

Effets observés sur la santé : pas de relation directe avec les tumeurs cérébrales ou des glandes salivaires mais une tendance dans l'association aux gliomes {39} ; une analyse comparative de 14 publications sur les effets du GSM sur l'activité cérébrale donnant un effet des ELF sur l'augmentation des ondes alpha {40} ; coup de chaleur, de fatigue et de maux de tête identiques pour les GSM et les téléphones analogiques mais proportionnel à la durée de l'appel et au nombre d'appels {41}.

Cette analyse rapide des derniers travaux publiés confirme les observations précédentes : on compte à peu près autant de publications montrant des effets soit biologiques, soit sur la santé que des publications apportant des résultats négatifs. Ceci nous conduit à exprimer une série de réflexions et de commentaires concernant la recherche dans ce domaine.

REFLEXIONS ET COMMENTAIRES SUR CE TYPE DE RECHERCHE

Il est très rare que le monde scientifique se divise ainsi. Chaque groupe est persuadé de la valeur de ses propres résultats et infirme les constatations de l'autre groupe, ce qui instaure une polémique.

Ce thème scientifique est dans un climat peu objectif :

- La téléphonie mobile dans son ensemble est d'abord une réalité économique importante qui implique un aspect financier qui devient rapidement politique. Le plus petit événement est médiatisé et amplifié. On parvient vite aux extrêmes : conséquences d'énormes investissements, ou crainte d'un danger « épidémique » qui effraie la population. Aucune publication d'innocuité ou de risque ne peut laisser indifférent.
- Cette technologie touche la population entière soit par la « consommation », soit par la répartition imposée dans le pays des antennes relais, les uns exigeant encore

plus de communications, les autres demandant un droit à l'éviction des antennes-relais.

- Des troubles ont été observés par la population qui sont trop constants et homogènes pour être dus au seul effet « nocebo », même si quelques cas particuliers ont été constatés.
- Les industriels sont donc confrontés au principe de précaution qui les oblige à apporter la preuve de l'innocuité des technologies diffusées (téléphones et stations-relais).

On voit donc se dessiner les deux courants qui correspondent à la dualité des résultats obtenus, ceux qui vont dans le sens des effets nocifs et ceux qui vont dans la direction de l'innocuité.

Problèmes posés par cette recherche :

- Choix du modèle expérimental :

L'abondance de modèles utilisés donnant à peu près en nombre égal des résultats négatifs et positifs soulève fortement le problème du choix du modèle expérimental. Quels sont les risques d'erreur dans les deux cas ?

Un modèle donnant des résultats négatifs *peut* ne pas être approprié. *Il faut alors qu'un contrôle positif valide le modèle choisi et l'expérimentation.* Le résultat négatif prend alors toute sa valeur.

Inversement, *un résultat positif doit être également validé* afin qu'aucun biais ne puisse faire croire à une fausse positivité. Les contrôles négatifs sont alors nécessaires. La seule différence entre les deux types de résultats est que le contrôle négatif est toujours présent pour valider l'expérience alors que le contrôle positif et la validation du modèle sont généralement absents des expérimentations. Le résultat négatif est pris pour ce qu'il paraît être sans justification du modèle.

- Multiplicité des paramètres

Dans les modèles étudiés (effet biologique ou analyse épidémiologique), l'action des ondes électromagnétiques est particulièrement difficile à mettre en œuvre étant donné la multiplicité des paramètres : ceux qui concernent la partie biologique (état, nature de l'organisme étudié ; paramètres biologiques mesurés) et ceux, innombrables, qui concernent les champs (fréquences, formes de l'onde, association d'ondes, intensité, durée, nombre d'applications, intervalles, sujet immobile ou mobile, ...), qui se combinent et expliquent les différences observées dans un modèle biologique donné selon les expérimentateurs. Comment par exemple analyser l'effet des radiofréquences sur des variations d'hormones de stress d'un animal mobile ? l'évaluation de l'absorption spécifique demande l'immobilité qui engendre alors elle-même un stress ?

Un modèle expérimental peut être totalement indépendant des paramètres externes : il est alors isolé. S'il est soumis à de nombreux paramètres externes (radiations parasites, température, saisons, etc.), il n'est plus isolé. Ceci nous conduit à rappeler que moins le modèle expérimental est isolé, moins il est reproductible, ...et inversement. Ce type d'expérimentation correspond plutôt à des systèmes non isolés qui concernent des organismes vivants donc complexes. Ceci peut expliquer les résultats tantôt positifs, tantôt négatifs

obtenus avec certains modèles. C'est aussi une difficulté pour l'épidémiologie puisque les paramètres électromagnétiques externes sont presque impossibles à maîtriser dans le cadre de vie, les plus impliqués étant sans doute les écrans de visualisation (téléviseurs, ordinateurs, etc..)

- **Difficulté pour le chercheur**

Ces expérimentations sont dans l'interdisciplinarité complète. Le travail relève des compétences du physicien et de celles de biologiste ou du médecin. Chacun a tendance à s'exprimer plutôt dans sa formation initiale. Le biologiste ne maîtrise qu'en second lieu la physique, et la réciproque est vraie pour le physicien. Il s'agit donc d'investigations difficiles qui demande beaucoup de contrôles et de compétences.

PERSPECTIVES

Quelle que soit l'importance économique de la téléphonie mobile, on ne peut gommer les innombrables résultats démontrant les effets des champs électromagnétiques sur le vivant. Le nombre et la qualité des publications s'accroît, faisant apparaître des effets non thermiques et un rôle des ELF qui n'étaient traditionnellement pas envisagés. Les cibles sont variées, métaboliques, cellulaires, membranaires, cérébrales, permettant d'imaginer tout un monde d'interaction de nature électromagnétique en biologie. On constate que les normes de sécurité proposées actuellement sont totalement obsolètes et qu'un nouveau travail d'expertise doit être réalisé. On se trouve actuellement dans un ensemble d'idées reçues aussi bien dans le monde scientifique que dans le public. Pour le public, il ne s'agit pas d'un « peur ancestrale de la nouveauté » comme cela est dit parfois puisque le public a adopté sans sourciller les écrans de visualisation qui ont aussi un effet biologique. Les plaintes correspondent à une réalité qu'il faut étudier, en particulier dans le cas des structures imposées comme les antennes-relais.

Il faut quitter le cadre de la polémique et s'attacher, d'une part, à vérifier les dommages éventuels causés par ces diverses radiations, et d'autre part, enrichir notre connaissance par ce nouvel aspect de la biologie.

Les thèmes des futures recherches pourraient être :

- Intensification des études des effets à long terme afin d'aménager les normes en fonction des effets non thermiques.
- Inscription du principe de précaution dans les normes concernant l'incertitude sur l'impact sanitaire des effets non thermiques.
- Tests d'innocuité biologique sur les nouvelles générations d'appareils mis sur le marché en incluant des contrôles positifs.
- Réalisation d'études sur les antennes-relais actuellement inexistantes (facteur d'exposition involontaire et chronique de la population générale).

Références

- 1- Daniells C, Duce I, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, de Pomerai D. Transgenic nematodes as biomonitors of microwave-induced stress. *Mutat Res* 13;399(1):55-64
- 2- de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, Jones D, Candido P. Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature* ;405(6785):417-8

- 3- Velizarov S, Raskmark P, Kwee S. (1999), The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. *Bioelectrochem Bioenerg* , 48(1):177-80.
- 4- Magras IN, Xenos TD. (1997), RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice, *Bioelectromagnetics* 1997;18(6):455-61.
- 5- Burch JB, Reif JS, Noonan CW, Ichinose T, Bachand AM, Koleber TL, Yost MG. (2002), Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol* 11:1029-36
- 6- Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR.(2002) Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 10:1623-32.
- 7- Edelstyn N, Oldershaw A, (2002), The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention, *Neuroreport* 21;13(1):119-21.
- 8-Jech R, Sonka K, Ruzicka E, Nebuzelsky A, Bohm J, Juklickova M, Nevsimalova S.(2001), Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy, *Bioelectromagnetics*, 22(7):519-28.
- 9- Lee TM, Ho SM, Tsang LY, Yang SH, Li LS, Chan CC, Yang SY,(2001), Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones, *Neuroreport* ;12(4):729-31.
- 10- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. (2002), Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG, *J Sleep Res* ;11(4):289-95.
- 11- Bastide M, Youbicier-Simo BJ, Lebecq JC, Giaimis J,(2001), Toxicological study of electromagnetic radiations emitted by television and video display units screens and cellular telephones on chickens and mice, *Indoor Built Environ*, 10: 291-298.
- 12- Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goetze J, Galla HJ, Kullnick U, Ringelstein EB, Stogbauer F.(2000), Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro, *Bioelectromagnetics* ;21(5):338-45.
- 13- Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. (2002) Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol Res*;13(1):19-24.
- 14- Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, Kuokka R. (2002) Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation*;70(2-3):120-9.
- 15- Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM.(2001), Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidant activities in human erythrocytes, *J Pharm Biomed Anal* ; 26(4):605-8.
- 16- d'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O.(2002) Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSM phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics* ;23(1):7-13.
- 17- Tattersall JE, Scott IR, Wood SJ, Nettell JJ, Bevir MK, Wang Z, Somasiri NP, Chen X.(2001), Effects of low intensity radiofrequency electromagnetic fields on electrical activity in rat hippocampal slices, *Brain Res* ;904(1):43-53.
- 18- Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW.(2002). Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* ;23(2):113-26.
- 19- Di Carlo A, White N, Guo F, Garrett P, Litovitz T.(2002), Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *J Cell Biochem*;84(3):447-54.
- 20- Irmak MK, Fadillioglu E, Gulec M, Erdogan H, Yagmurca M, Akyol O.(2002), Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits, *Cell Biochem Funct* ;20(4):279-83.
- 21- Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioğlu MT, Oncel S.(2002) Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol*; 122(3):289-93

- 22- Bortkiewicz A, Pilacik B, Gadzicka E, Szymczak W.(2002), The excretion of 6-hydroxymelatonin sulfate in healthy young men exposed to electromagnetic fields emitted by cellular phone -- an experimental study., *Neuroendocrinol Lett*; 23 Suppl 1:88-91.
- 23- Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J.(2002), Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals, *Radiat Res* ;158(3):352-6.
- 24- Radon K, Parera D, Rose DM, Jung D, Vollrath L.(2001), No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man, *Bioelectromagnetics* ;22(4):280-7.
- 25- Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Christensen HC, Olsen JH., (2002), Mobile phones and malignant melanoma of the eye, *Br J Cancer* ;86(3):348-9.
- 26- Hietanen M, Hamalainen AM, Husman T (2002), Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link, *Bioelectromagnetics* ;23(4):264-70.
- 27- Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H.(2001), GSM phone signal does not produce subjective symptoms, *Bioelectromagnetics* ; 22(3):212-5.
- 28- Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Vollrath L, Mecke D.(2002), Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: results of three consecutive studies. *Radiat Res*;157(2):183-90.
- 29- Finnie JW, Blumbergs PC, Manavis J, Utteridge TD, Gebiski V, Davies RA, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. (2002), Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology*;34(4):344-7.
- 30- Dubreuil D, Jay T, Edeline JM.(2002), Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks?, *Behav Brain Res* ;129(1-2):203-10.
- 31- Cranfield CG, Wood AW, Anderson V, Menezes KG.(2001), Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (Jurkat cells). *Int J Radiat Biol*;77(12):1207-17.
- 32- Maes A, Collier M, Verschaeve L.(2001), Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* ;22(2):91-6.
- 33- Roti Roti JL, Malyapa RS, Bisht KS, Ahern EW, Moros EG, Pickard WF, Straube WL.(2001), Neoplastic transformation in C3H 10T(1/2) cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiat Res*;155 (1 Pt 2):239-247.
- 34- Vijayalaxmi, Pickard WF, Bisht KS, Prihoda TJ, Meltz ML, LaRegina MC, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG.(2001), Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation, *Int J Radiat Biol* ;77(11):1109-15.
- 35- Vijayalaxmi, Bisht KS, Pickard WF, Meltz ML, Roti Roti JL, Moros EG. (2001), Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiat Res*;156(4):430-2.
- 36- Vijayalaxmi, Leal BZ, Meltz ML, Pickard WF, Bisht KS, Roti Roti JL, Straube WL, Moros EG.(2001), Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res*;155 (1 Pt 1):113-21.
- 37- Bisht KS, Moros EG, Straube WL, Baty JD, Roti Roti JL.(2002), The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T(1/2) cells. *Radiat Res* ;157(5):506-15.
- 38- Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. (2002), Long-term exposure of E-mu-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* ;158(3):357-64.
- 39- Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS.(2002), Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* ; 13(3):356-9.
- 40- Hamblin DL, Wood AW.(2002), Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* ;78(8):659-69.

- 41-Sandstrom M, Wilen J, Oftedal G, Hansson Mild K. (2001), Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med (Lond)*;51(1):25-35.**