

## Effets possibles des ondes électromagnétiques utilisées dans la téléphonie mobile sur les êtres vivants



X. Michel

Alfonso BALMORI

**RÉSUMÉ** - Cet article passe en revue la littérature relative aux effets sur les êtres vivants des ondes utilisées dans la téléphonie sans fil et analyse leur impact possible sur les oiseaux sauvages. Après la présentation des caractéristiques techniques et de la situation légale [en Espagne essentiellement] de cette nouvelle technologie, sont passées en revue les recherches scientifiques intéressantes pour l'étude des effets sur la faune sauvage. Sur la base des connaissances scientifiques actuelles, les conséquences possibles sur les oiseaux sont discutées, en tenant compte de la détérioration récente de certains écosystèmes que ceux-ci occupent. Il y est préconisé de considérer la pollution électromagnétique dans le domaine des micro-ondes comme un facteur possible de diminution de certaines populations à risque, particulièrement des oiseaux urbains, exposés à de plus grands niveaux de radiation. On ne peut non plus écarter des effets sur les oiseaux dans les zones rurales ou protégées, proches d'antennes. Les oiseaux peuvent être d'excellents bio-indicateurs, d'où l'importance de réaliser sur eux des études qui mesurent les effets de ce nouveau type de contamination. Certaines méthodologies sont proposées.

### Introduction

L'homme a souvent utilisé les êtres vivants pour détecter de possibles altérations dans les écosystèmes et dans sa propre sphère vitale. Des lichens, très sensibles à la contamination parce qu'ils accumulent les substances toxiques dans leurs tissus, aux oiseaux qui vivent dans les jardins et les bâtiments, une vaste gamme d'organismes ont servi comme indicateurs de salubrité de l'habitat humain.

### Caractéristiques physiques et technologiques de la téléphonie mobile

Les radiations électromagnétiques transmettent des "paquets" d'énergie appelés photons (AGUILAR,

2001). Les radiofréquences occupent la bande de 10 MHz à 300 GHz. Les antennes de téléphonie mobile émettent des ondes électromagnétiques avec une fréquence porteuse de 900 MHz pour le système analogique et de 900 MHz et 1800 MHz pour le système digital. Ces ondes, généralement connues comme micro-ondes (bande approximative de 1 GHz à 300 GHz), sont modulées en fréquences audio. Les micro-ondes portent l'information sonore au moyen de rafales ou d'impulsions de courtes durées avec de petites modulations de la fréquence, qui se transfèrent entre les téléphones portables et les bases relais.

L'antenne d'un téléphone mobile irradie dans toutes les directions, tandis que l'antenne d'une base

\* Cet article a fait l'objet d'une publication, en espagnol, dans *Ardeola*, en 2004. En accord avec l'auteur, le Comité de rédaction du Bulletin Aves a jugé utile d'en porter le contenu à la connaissance du public francophone et en a confié la traduction à Natalia Gonzalez Ciruela. Cet article est donc à référencer comme BALMORI, A. (2004) : Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos, *Ardeola* 51(2), 477-490.



relais produit une émission directionnelle en forme de lobe. De plus, plusieurs lobes secondaires se forment, d'une puissance moindre, qui se dirigent sur les côtés et la partie arrière, à proximité de l'antenne. Les bases relais de téléphonie disposent généralement de trois secteurs, avec trois antennes, qui couvrent un angle de 120 degrés chacune (SANTINI *et al.*, 2000; HYLAND, 2000, 2001; NAVARRO *et al.*, 2003). La fréquence utilisée dans le courant alternatif d'usage domestique (50-60 Hz) crée un champ magnétique, induit et statique (effet non souhaité) qui ne se projette pas dans l'espace, se dissipe à quelques décimètres de la source et disparaît quand la source d'énergie se déconnecte (appareils électrodomestiques d'utilisation quotidienne, câbles et transformateurs). Par contre, les antennes de téléphonie émettent des radiations de micro-ondes qui voyagent en s'éloignant de la source, qui continuent d'exister même si la source est déconnectée (AGUILAR, 2001) et qui peuvent atteindre jusqu'à trente kilomètres de distance.

Pour une direction concrète par rapport à l'antenne, la densité de puissance en un point varie de manière inversement proportionnelle au carré de la distance à la source émettrice. À une distance de 50 mètres d'une antenne de téléphonie, la densité de puissance est de  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (SANTINI *et al.*, 2000), tandis qu'à une distance de 100 mètres au niveau du sol, on peut encore mesurer plus de  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (obs. pers.). Entre 150 et 200 mètres, la densité de puissance du lobe principal près du sol est typiquement de quelques dixièmes de  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (HYLAND, 2000). Au-dessus de  $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , on a suggéré des effets biologiques. La densité de puissance dépasse largement cette valeur dans les zones situées à moins de 300 mètres des antennes (HAUMANN *et al.*, 2002).

Les variables utilisées pour mesurer ces radiations sont : 1) la densité de puissance (mesurée en watts par mètre carré :  $\text{W}/\text{m}^2$ , ou en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), qui exprime la puissance de rayonnement qui atteint perpendiculairement une surface divisée par l'aire de la surface, 2) l'intensité de champ électrique en un point (mesurée en volts par mètre :  $\text{V}/\text{m}$ ), qui est une quantité vectorielle proportionnelle à la force

exercée sur une particule chargée, dépendant de sa position dans l'espace. On utilise également l'intensité de champ magnétique, mesurée en ampères par mètres ( $\text{A}/\text{m}$ ), et l'induction magnétique, mesurée en teslas (T). Pour mesurer les effets des émissions électromagnétiques sur les tissus, on utilise le taux ou indice d'absorption spécifique, plus connu comme SAR (Specific Energy Absorption Rate), qui se définit comme le taux avec lequel l'énergie est absorbée par unité de masse de tissu corporel et se mesure en watts par kilogramme ( $\text{W}/\text{kg}$ ). L'unité SAR s'est standardisée à partir du réchauffement qui se produit sur un modèle artificiel (une masse sphérique de plastique remplie de solution saline) inanimé et homogène, dépourvu des propriétés qui caractérisent les êtres vivants.

Avant le déploiement de la téléphonie sans fil, les émissions ondulatoires existantes dans le domaine des radiofréquences avaient leur origine dans les antennes de radio et de télévision, normalement installées à grande hauteur ou éloignées des noyaux de population. Depuis la seconde moitié des années 90 du siècle passé, le réseau des bases relais de téléphonie a été déployé, ce qui a augmenté de plusieurs ordres de grandeur la contamination électromagnétique, spécialement dans les villes, mais également à la campagne, près des noyaux ruraux et des infrastructures routières (obs. pers.). Actuellement, de nouveaux types d'antennes sont à l'étude afin de réduire la puissance nécessaire pour établir la communication (COOPER & GOLDBURG, 1996; COOPER, 2003).

## Mécanisme d'action sur les systèmes biologiques

Un des effets les plus connus des micro-ondes est leur capacité à mettre en résonance les molécules d'eau (dipôles) et d'autres composants des aliments, provoquant une hausse de la température. Le degré de réchauffement résultant dépend de l'intensité de la radiation et du temps d'exposition. Pour des puissances radiantées dépassant les  $500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , des effets mesurables de réchauffement des tissus se produisent (fours à micro-ondes), tandis qu'en dessous de ce niveau les effets se dénomment "non thermiques".



La réponse d'un système biologique à un champ électromagnétique dépend des propriétés intrinsèques du système, des caractéristiques du champ externe incident (spécialement de sa puissance radiante et de sa fréquence) et du milieu dans lequel se produit le phénomène (LIN, 1994). Les animaux sont des complexes électrochimiques très sensibles, qui communiquent avec leur milieu au moyen d'impulsions électriques. Il existe chez eux des courants ioniques et des différences de potentiel électrique à travers des membranes cellulaires et des fluides corporels, tant intra qu'extracellulaires (HEREDIA-ROJAS *et al.*, 2003). Les champs électromagnétiques générés dans les structures biologiques sont caractérisés par des fréquences spécifiques, qui peuvent subir des interférences dues à la radiation électromagnétique incidente, provoquant une induction et modifiant leur réponse (SMITH, 1989; HYLAND, 2000, 2001). Certains organes ou systèmes tels que le cerveau, le cœur et le système nerveux sont particulièrement sensibles à ces inductions. Par exemple, plusieurs auteurs ont découvert que la basse fréquence des impulsions du système GSM interfère dans les ondes cérébrales provoquant des ondes delta, pathologiques sur des personnes éveillées (KRAMARENKO, 2003; MARINO *et al.*, 2003).

Les systèmes ondulatoires ont des propriétés, comme la fréquence, qui peuvent affecter par l'effet de résonance la capacité d'un organisme vivant à absorber l'énergie d'un champ électromagnétique irradiant (HYLAND, 2000). Les structures biologiques peuvent entrer en résonance avec des fréquences particulières lorsque leur taille approche la moitié de la longueur de l'onde incidente. La radiation de micro-ondes à impulsions de basse intensité, comme celles employées dans la téléphonie sans fil, peut exercer des influences sur les organismes vivants, car les longueurs d'onde des systèmes cellulaires de téléphonie (12 à 37 cm) sont de l'ordre de grandeur des structures biologiques et, par conséquent, sont capables de provoquer des réponses. L'énergie absorbée peut être suffisante pour provoquer de subtils changements dans la conformation de l'architecture moléculaire, provoquant des altérations biochimiques par détérioration de l'activité enzymatique (DANIELLS *et al.*, 1998). Il existe des "fenêtres de fréquence" auxquelles les champs électromagnétiques

peuvent induire des effets biologiques (ADEY, 1981). Certains effets peuvent même se manifester à une fréquence particulière exclusivement dans un domaine d'intensité, ou après une certaine durée d'irradiation (HYLAND, 1998).

Les êtres vivants sont exposés à des niveaux variables de champs électromagnétiques de radiofréquences, selon la distance des antennes émettrices, la présence de réémetteurs passifs capables de réfléchir les ondes (structures métalliques) ou de les amortir (bâtiments), le nombre de communications de la station et sa position par rapport à l'orientation de l'antenne (SANTINI *et al.*, 2000). Il faut, de plus, tenir compte des caractéristiques techniques de l'antenne, de sa puissance et de son rendement, de sa hauteur par rapport au sol, de l'orientation du faisceau émetteur principal (largeurs verticale et horizontale), de la localisation des lobes secondaires, de la hauteur à laquelle se trouve l'être vivant et de la topographie locale.

Il existe des réglementations internes spécifiques très strictes pour les travailleurs qui exercent les travaux de maintenance des antennes de téléphonie, qui ne peuvent rester plus de six minutes à proximité d'une antenne en fonctionnement. Si, dans les espaces d'usage public, l'influence thermique de la radiation (réchauffement des tissus) par les micro-ondes peut être écartée, il n'en est pas de même avec les effets non thermiques. La liberté de mouvements des oiseaux et leur habitude à se poser dans les environs, voire sur les stations relais elles-mêmes, les rendent potentiellement plus vulnérables aux effets tant thermiques que non thermiques.

Les micro-ondes ont le potentiel d'induire des réactions défavorables à la santé des personnes (HYLAND, 2000, 2001; SANTINI *et al.*, 2002, 2003a, 2003b; NAVARRO *et al.*, 2003) et de la faune qui vit à proximité des antennes émettrices (BALMORI, 2003). Les petits organismes sont particulièrement sensibles, tant par leur taille proche de la longueur d'onde correspondant à la fréquence de résonance que par l'épaisseur moindre de leur crâne qui facilite une meilleure pénétration de la radiation dans le cerveau (SANTINI, 2000; HYLAND, 2001; MAISCH, 2003; BALMORI, 2003). On ne connaît pas encore avec certitude quel est l'aspect le plus important de la radia-



tion électromagnétique quand elle provoque un effet sur la santé d'un être vivant dans la nature : le niveau moyen d'exposition journalier, les expositions au-dessus d'un certain seuil ou simplement les variations des champs auxquels on le soumet (BARDASANO & ELORRIETA, 2000). Pour des niveaux de puissances inférieurs à ceux recommandés lors de la conférence de Salzbourg ( $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ), des effets contraires à la santé n'ont pas encore été publiés. En s'éloignant à plus de 300 mètres des antennes émettrices, la majorité des symptômes remarqués sur des personnes diminuent ou disparaissent (SANTINI, 2003b).

### Situation légale

L'Union européenne, dans sa recommandation 1999/519/CE (JOCE, 1999), a adopté les niveaux de référence proposés par la Commission internationale sur la radioprotection non ionisante (ICNIRP) (limite d'exposition acceptée pour les êtres vivants), qui sont de  $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pour le système GSM (900 MHz) et de  $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pour le DCS (1800 MHz) (ICNIRP, 1998). La norme en vigueur en Espagne (Décret royal 1066/2001) (BOE, 2001) a adopté les critères de la recommandation européenne.

## Examen des effets des micro-ondes sur les êtres vivants

Depuis plus de 30 ans, c'est une évidence croissante qu'il existe des effets biologiques sur les êtres vivants, en dessous des niveaux légaux (effets à des niveaux de puissance où un réchauffement des tissus n'a pas lieu). Dans le domaine de la recherche en bio-électromagnétisme, les expériences sont réalisées avec des animaux ou des tissus vivants. Ceux-ci sont soumis aux radiations émises par un téléphone portable ou une autre source de radiations de micro-ondes durant un certain temps avec prise de notes des possibles effets. À la fin de l'exposition aux radiations, des nécropsies et des analyses des tissus, cellules ou molécules sont réalisées. Bien que les recherches aient été faites sur une grande variété d'êtres vivants, les résultats recueillis sur les vertébrés ont un intérêt particulier pour pouvoir évaluer les effets prévisibles sur les oiseaux.

Malgré l'évidence expérimentale qu'il existe des réponses biologiques à des niveaux inférieurs, les restrictions proposées par l'ICNIRP (1998) protègent exclusivement des effets thermiques à court terme. C'est pour cette raison que certains pays ont adopté leurs propres niveaux de référence, recourant au "principe de précaution". L'Italie, dans un décret de 1998, a adopté une limite de puissance d'exposition de  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pour le système GSM (900 MHz), tout comme la Hongrie, la Bulgarie et la Pologne. La Chine a une limite de  $6,6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ; la Russie, la Suisse, le Luxembourg et la Wallonie, de  $2,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ; Salzbourg (Autriche) de  $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  et la Nouvelle-Galles du Sud (Nouvelle-Zélande) de  $0,001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (SANTINI, 2000; BALMORI, 2003).

Il est ici important de faire remarquer qu'avec des niveaux de  $0,1 \text{ pW}/\text{cm}^2$ , on obtient officiellement une communication réussie, adaptée aux besoins de couverture du système (HAUMANN et al., 2002). Cela veut dire qu'avec des niveaux de densité de puissance (d'exposition) 4.500 millions de fois plus bas que ceux actuellement autorisés en Espagne, il existe une couverture suffisante pour qu'un téléphone portable fonctionne.

Il existe des travaux qui n'ont pas constaté d'effets observables sur les êtres vivants, mais beaucoup d'autres études alertent du danger de ce type de radiation, puisqu'elle peut interférer sur le système nerveux et altérer de nombreux processus biologiques (HYLAND, 2000, 2001). Il y a des études qui montrent comment les animaux exposés souffrent d'une détérioration de leur santé à proximité des antennes émettrices (e.a. MARKS *et al.*, 1995) et certains des effets non thermiques des micro-ondes sur les oiseaux sont connus depuis plus de 35 ans (TANNER, 1966; TANNER *et al.*, 1967).

Chez les invertébrés soumis aux micro-ondes, on a constaté une augmentation de la synthèse des dénommées "protéines du stress", qui se synthétisent généralement lorsque les cellules sont exposées à des conditions environnementales défavora-



bles. Cet effet des champs électromagnétiques a été appelé choc non thermique. Il a été obtenu par l'exposition, durant la nuit, de nématodes à des niveaux de radiation inférieurs à ceux légalement autorisés en Espagne (SAR=0,001 W/kg) (DE POMERAI *et al.*, 2000) et par l'exposition, durant 10 jours, de *Drosophila* au rayonnement d'un téléphone portable (SAR=1,4 W/kg) (WEISBROT *et al.*, 2003). C'est pour cette raison que les auteurs suggèrent que les limites légales d'exposition des être vivants doivent être reconsidérées. D'autres travaux ne trouvent pas d'induction de protéines du stress en exposant des cellules durant 2 heures à 2.450 MHz (SAR=25 W/kg) et à 27 MHz (SAR=100 W/kg; CLEARY *et al.*, 1997). L'oscillation de la conformation tridimensionnelle des enzymes, chez des organismes vivants soumis à cette radiation, peut affecter la rapidité des processus biochimiques. Par exemple, on a décrit une augmentation de l'activité de l'ornithine décarboxylase (PAULRAJ *et al.*, 1999), après avoir exposé des rats à une fréquence de 112 MHz, modulée à 16 Hz avec une puissance de 1 mW/cm<sup>2</sup> (SAR=0,75 W/kg) durant 35 jours.

Les ondes électromagnétiques du domaine des radiofréquences peuvent affecter la communication intercellulaire et le fonctionnement des canaux de calcium (DUTTA *et al.*, 1989) produisant, par exemple, une augmentation du flux de calcium dans le cerveau des rats exposés à une fréquence de 112 MHz, modulée à 16 Hz avec une puissance de 1 mW/cm<sup>2</sup> (SAR=0,75 W/kg) durant 35 jours (PAULRAJ *et al.*, 1999). D'autres auteurs n'ont pas obtenu d'effets remarquables sur la variation en concentration de calcium intracellulaire dans des cellules cardiaques exposées à des porteuses de 900, 1.300 et 1.800 modulées à 217 Hz, avec un SAR de 1 mW/kg, pendant 500 secondes (WOLKE *et al.*, 1996). Des interférences avec les processus immunitaires ont aussi été décrits chez les souris exposées à des fréquences de micro-ondes sur la bande de 8,15-18 GHz avec une densité de puissance de 1 µW/cm<sup>2</sup> (NOVOSELOVA & FESENKO, 1998). On a constaté des dommages sur les chromosomes et une aneuploïdie dans les lymphocytes humains exposés à des signaux émis par des téléphones portables

(MASHEVICH *et al.*, 2003). D'autres auteurs n'ont pas trouvé d'effets ni sur les lymphocytes (ANTONOPOULOS *et al.*, 1997) ni sur les cellules de mammifères exposées à une radiation de 2.450 MHz de fréquence (SAR=0,7-1,9 W/kg) pendant 2, 4 et 24 heures (MALYAPA *et al.*, 1997). D'autres travaux ont trouvé des effets génétiques des micro-ondes sur des hamsters soumis à la radiation de micro-ondes, avec une fréquence de 7,7 GHz et 0,5 mW/cm<sup>2</sup> de puissance, pendant 15, 30 et 60 minutes (GARAJ-VRHOVAC *et al.*, 1991). L'augmentation significative des micronoyaux dans les érythrocytes du bétail qui paît près des transmetteurs, a été interprétée comme un indice de l'effet génotoxique de leur exposition (BALODE, 1996). On a également observé des micronoyaux et une altération de la division mitotique chez des travailleurs exposés aux micro-ondes (GARAJ-VRHOVAC, 1999).

Il y a une grande diversité quand on présente les radiofréquences utilisées dans la téléphonie mobile comme des facteurs de cause de l'apparition de tumeurs. Alors que des études ont informé d'une augmentation du risque de souffrir de tumeurs cérébrales chez les utilisateurs de téléphones portables (HARDELL *et al.*, 2002), d'autres auteurs ne trouvent pas d'effets des radiofréquences sur l'émergence tumorale (HIGASHIKUBO *et al.*, 1999). On a observé des changements dans la prolifération cellulaire comme un effet de l'exposition au signal du système GSM à 960 MHz (VELIZAROV *et al.*, 1999). Une diminution de la survie d'enfants leucémiques a été décrite près des antennes de télévision (HOCKING & GORDON, 2000), et une réduction significative du risque de leucémie en augmentant la distance aux antennes de télévision (HOCKING *et al.*, 1996) ou de radio (MIOCHELOZZI *et al.*, 1998). Actuellement, les chercheurs penchent pour l'idée que les champs électromagnétiques pourraient intervenir plus comme des promoteurs que comme des déclencheurs du cancer, favorisant son développement plus que l'induisant directement (HEREDIA-ROJAS *et al.*, 2003). Récemment (juin 2001), le comité d'experts convoqué par le Centre International de Recherche sur le Cancer a inclus les champs électromagnétiques à très basse fréquence (ceux d'utilisa-



tion quotidienne de 50-60 Hz) dans la Classification des Substances Cancérogènes dans la catégorie de "peut-être cancérogènes pour l'homme" (groupe 2B).

Les champs électromagnétiques à haute fréquence peuvent altérer les systèmes nerveux et endocrinien. On a observé des effets des micro-ondes émises par les téléphones portables sur le système nerveux (KHUDNITSKII *et al.*, 1999; PETRIDES, 2000) et sur la fonction cognitive (KOLVISTO *et al.*, 2000), de même que sur le sommeil (Mann & Roschke, 1996) et la réplique électrique cérébrale (EEG) (EULITZ *et al.*, 1998; MARINO *et al.*, 2003). Ces ondes peuvent provoquer des céphalées et d'autres altérations du système nerveux chez l'homme (ALTPETER *et al.*, 1995). Les lapins qui furent exposés à une radiation de micro-ondes de 1,5 GHz avec une puissance de 0,3 mW/cm<sup>2</sup> montrèrent des effets dans l'hippocampe, mais pas dans le reste du cerveau étudié (GRIGORIEV *et al.*, 1995a). D'autres auteurs n'ont pas trouvé d'effets sur le système nerveux central (URBAN *et al.*, 1998), ni des altérations de l'électroencéphalogramme (EEG) ou du sommeil (ROSCHKE & MANN, 1997).

Des radiations de micro-ondes de 1,5 GHz avec des impulsions de 16 ms de durée et de 0,3 mW/cm<sup>2</sup> de puissance, pendant des séances de 30 minutes par jour durant un mois, ont produit de la désadaptation, de l'anxiété et de l'inquiétude sur des lapins (GRIGORIEV *et al.*, 1995b). Le bétail exposé à la radiation d'antennes proches a montré des problèmes de santé et de notables comportements aberrants qui ont disparu quand il s'éloignait des antennes (LÖSCHER & KÄS, 1998). Un manque d'attention avec des dysfonctionnements de la fonction motrice, de la mémoire et du temps de réaction a été remarqué sur des enfants qui avaient vécu à proximité d'une station radar (KOLODYSKI & KOLODYSKA, 1996) et on a prévenu des risques possibles que peut avoir la radiation des téléphones portables sur l'apprentissage humain (MANN & ROSCHKE, 1996), bien que d'autres études n'aient pas trouvé d'effets sur l'apprentissage des rats (SIENKIEWICZ *et al.*, 2000).

La glande pinéale répond à l'exposition à des champs électromagnétiques déterminés avec une réduction de la synthèse de la mélatonine (OLCESE, 1990). La diminution de mélatonine peut altérer les rythmes circadiens et favoriser l'apparition de dépressions et de processus tumoraux (BARDASANO & ELORRIETA, 2000). Certains travaux nous informent d'une diminution de la production de la mélatonine chez les personnes qui utilisent des téléphones portables (BURCH *et al.*, 1997). Tandis que d'autres études ne trouvent pas d'effets sur les niveaux de mélatonine chez les mammifères exposés aux radiations utilisées dans la téléphonie mobile (VOLLRATH *et al.*, 1997).

Il existe des études qui montrent une augmentation de la pression artérielle et des changements du rythme cardiaque chez les personnes exposées dans leur travail à des radiofréquences (SZMIGIELSKI *et al.*, 1998), bien que d'autres auteurs ne trouvent pas d'effets sur le rythme cardiaque des personnes exposées à des téléphones portables durant leur sommeil (MANN *et al.*, 1998). Certains travaux concluent que les champs électromagnétiques émis par les antennes et les téléphones portables peuvent favoriser la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique et permettre l'entrée de substances nuisibles au cerveau, qui endommagent les neurones des rats (SALFORD *et al.*, 2003). Mais d'autres ne trouvent pas d'effets sur cette barrière physiologique (TSURITA *et al.*, 2000). On a également signalé la possibilité que les maux de tête rapportés par des utilisateurs de téléphones portables puissent être liés à cet effet (FREY, 1998).

Des effets sur le système urogénital ont été notifiés, observant des changements histologiques et un développement réduit des tubules dans les testicules des rats, quand ils ont été maintenus très près de téléphones portables fonctionnant (DASDAG *et al.*, 1999). Les mêmes auteurs ne trouvent pas d'effets lors d'une étude postérieure (DASDAG *et al.*, 2003). Une étude grecque, réalisée près d'un groupe d'antennes de radio et de télévision (MAGRAS & XENOS, 1997), montre une décroissance progressive du nombre de naissances de rongeurs. Les souris exposées à une puissance de 0,168 µW/cm<sup>2</sup> sont devenues stériles après cinq générations, tandis que celles



exposées à  $1,053 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  ont atteint la stérilité après trois générations. Les niveaux de radiation de cette étude sont actuellement dépassés en Espagne, aux alentours des antennes de téléphonie, et touchent une grande superficie territoriale, tant dans les agglomérations qu'à la campagne (obs. pers.), ce qui pourrait affecter la reproduction de certains oiseaux sauvages (BALMORI, 2003). Une augmentation de la rapidité du cycle larvaire a été obtenue sur des nématodes exposés à des radiations de 750 MHz de fréquence, à une densité de puissance de  $0,5 \text{ W}/\text{cm}^2$  (DE POMERAI *et al.*, 1999). D'autres études ne détectent pas d'effets sur les embryons de rats exposés durant 36 heures à des radiofréquences sur une bande de 60 à 600 V/m d'intensité de champ (KLUG *et al.*, 1997).

La maladie des radiofréquences ou "syndrome des micro-ondes" est une réalité médicale, assez méconnue, provoquée par l'exposition à ces ondes (JOHNSON-LIAKOURIS, 1998; NAVARRO *et al.*, 2003). Elle comprend un ensemble de symptômes com-

muns (mal de tête, fatigue, irritabilité, perte d'appétit, troubles du sommeil, dépression, etc.) qui ont été notés dans des études épidémiologiques réalisées sur des personnes vivant à proximité des stations relais de téléphonie. Son apparition augmente, de manière statistiquement significative, au fur et à mesure que la distance à la source émettrice diminue (SANTINI *et al.*, 2001, 2002, 2003a, 2003b) et sa sévérité est directement liée à la densité de puissance mesurée à chaque lieu de résidence (NAVARRO *et al.*, 2003). Ces mêmes symptômes ont été notés également sur des utilisateurs de téléphones portables (FREY, 1998). Dans une étude commandée par le gouvernement néerlandais pour mesurer l'impact des antennes de troisième génération de portables (UMTS) sur la santé des personnes (ZWAMBORN *et al.*, 2003), des effets significatifs sur les fonctions cognitives et le bien-être ont été constatés à des niveaux d'intensité de champ très bas (1 V/m).

## Recherches effectuées avec des oiseaux

Une étude, réalisée en exposant des oiseaux durant 206 jours à des champs de micro-ondes de 7,06 GHz de fréquence avec des puissances entre  $0,14$  et  $1440 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , a montré des effets bénéfiques dans la production d'œufs, mais la mortalité s'est vue multipliée par deux (TANNER & ROMERO-SIERRA, 1974). Pour des fréquences et des intensités de micro-ondes différentes, on a obtenu des effets réducteurs du taux de croissance sur les poulets et les rats exposés, en plus d'une diminution de la production d'œufs chez les poules, d'une augmentation de la fertilité et d'une détérioration de la qualité de la coquille des œufs (KRUEGER *et al.*, 1975). Plusieurs auteurs ont noté une augmentation significative de la mortalité embryonnaire chez des poulets exposés à la radiation de téléphones portables en fonctionnement (FARREL *et al.*, 1997; YUBICIER-SIMO *et al.*, 1998; GRIGORIEV, 2003), qui pourrait être en train d'affecter les oiseaux sauvages qui vivent dans les zones les plus contaminées par des micro-ondes.

Les radiations d'un téléphone portable (900 MHz

modulées à 217 Hz) ont induit une réponse chez plusieurs types de neurones du système nerveux central des oiseaux (BEASOND & SEMM, 2002). On ignore encore si le syndrome des micro-ondes, déjà cité, se manifeste chez les oiseaux, mais dans une expérience réalisée sur des poules exposées à une fréquence de 7,06 GHz, avec une puissance de  $0,19$  à  $360 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pendant 206 jours, sont apparus des problèmes de santé et une notable détérioration du plumage, tandis que les nécropsies ont montré des leucoses et des tumeurs du système nerveux central (TANNER & ROMERO-SIERRA, 1982). KONDRA *et al.* (1970), quant à eux, ont trouvé une augmentation de la fréquence d'ovulation des poules exposées à 6 GHz de  $0,02$  à  $400 \text{ pW}/\text{cm}^2$  de puissance durant des périodes de 56 à 476 jours. Dans des travaux récents, effectués en mesurant les niveaux de champ électromagnétique dans la bande des radiofréquences, certains effets à courts et longs termes ont été observés sur les oiseaux sauvages urbains dans des zones à taux de contamination électromagnétique élevés (BALMORI, 2003).



## Explications possibles des résultats contradictoires. Difficultés méthodologiques des expériences et de leur interprétation

Les expériences qui étudient les effets des radiations électromagnétiques sur les êtres vivants sont complexes, puisqu'il y a un grand nombre de variables à contrôler. La complexité de ce contrôle rend difficiles les "conditions identiques" nécessaires pour la duplication. Ces différences dans les schémas expérimentaux pourraient mener à des résultats contradictoires (TANNER & ROMERO-SIERRA, 1982).

Les radiations de micro-ondes paraissent induire des effets différents, et même contraires, en fonction des angles d'approche méthodologiques comme la fréquence, la puissance, la modulation, les impulsions, le temps d'exposition, etc. (GRIGORIEV, 1996; DANIELLS *et al.*, 1998; NIKOLAEVICH *et al.*, 2001). Expérimentalement, on a détecté, dans certains cas, une dépendance biphasique des effets biologiques (effets biologiques opposés à basse et haute intensité; NIKOLAEVICH *et al.*, 2001). Les radiations avec des fréquences compatibles avec les processus biologiques (celles qui ont une grande similitude oscillatoire, par exemple, avec les ondes cérébrales) paraissent être particulièrement nocives, puisqu'elles peuvent brouiller la communication interne de l'être vivant lui-même. Cet effet pourra uniquement être détecté dans des études "in vivo". Les études de caractère morphologique, réalisées "in vitro", trouveront difficilement des modifications significatives, puisque les altérations induites sont fonctionnelles et sont basées sur l'échange de charges et elles n'affectent pas normalement la structure.

De petits champs électromagnétiques provoquent des changements chimiques, physiologiques et comportementaux seulement dans quelques fenêtres de fréquence précises (ADEY, 1981). Chaque structure (crâne, organes, cellules, molécules) peut entrer en résonance avec certaines fréquences, quand sa taille avoisine la moitié de la longueur de l'onde incidente. Certaines études ont démontré les différents effets des micro-ondes selon que leur longueur d'onde est de l'ordre de grandeur du millimètre,

du décimètre ou du mètre (KEMEROV *et al.*, 1999; NIKOLAEVICH *et al.*, 2001).

Les ondes pulsées (en rafales), comme certaines modulations de basse fréquence, ont montré une grande activité biologique (GRIGORIEV, 1996; HYLAND, 2001; NIKOLAEVICH *et al.*, 2001). Les relations dose-réponse (des effets non thermiques) ne sont pas faciles à établir, puisqu'elles présentent une relation non linéaire (MONTEAGUDO, 1997; HYLAND, 2001; MARINO *et al.*, 2003). De plus, les effets cumulatifs dépendent de la durée de l'exposition (ADEY, 1996).

Dans les études traitant des effets des radiations de téléphonie sur les oiseaux, il est nécessaire de tenir compte de la somme des radiations de micro-ondes auxquelles ils sont exposés dans la vie réelle, puisque les sources de radiation, avec des fréquences et des intensités différentes, procédant de plusieurs antennes, peuvent se superposer en un même point. La grande mobilité des oiseaux, la variation des temps d'exposition et les propriétés physiques des ondes radiant, telles que la résonance, les réflexions ou l'atténuation par certaines structures, peuvent compliquer l'étude. De plus, l'intensité de champ électrique, en un point concret, varie continuellement entre certains niveaux (obs. pers.), dépendant du nombre de communication que supporte l'antenne, de l'horaire et aussi de la météo. Il est possible que chaque espèce et aussi chaque individu montre une sensibilité différente aux radiations, puisque la vulnérabilité dépend de sa prédisposition génétique et de l'état physiologique et neurologique de l'être vivant irradié (HYLAND, 2001; FEDROWITZ *et al.*, 2004).

A propos du protocole pour effectuer les mesures, les techniciens ne se sont pas encore mis d'accord, particulièrement en ce qui concerne l'utilisation d'antennes isotropes (qui intègrent les émissions arrivant en un point en provenance de toutes les directions de l'espace) ou directionnelles (qui s'orientent vers la





source émettrice, fournissant des mesures plus précises des niveaux qui se reçoivent en un lieu déterminé en provenance d'un émetteur ponctuel). Les deux

méthodes offrent des résultats très différents pour les mesures réalisées dans la nature à différentes distances des antennes (obs. pers.).

## Effets possibles sur les oiseaux

L'examen de la littérature réalisé ci-dessus montre que les radiations de micro-ondes pulsées de téléphonie peuvent produire des effets particulièrement sur les systèmes nerveux, cardio-vasculaire, immunitaire et reproducteur :

- Dommages sur le système nerveux par altération de l'électroencéphalogramme, modification de la réponse neuronale ou perméabilisation de la barrière hémato-encéphalique;
- Altération des rythmes circadiens (sommeil - veille) par interférences avec la glande pinéale et par dérèglements hormonaux;
- Changements du rythme cardiaque et de la pression sanguine;
- Détérioration de la santé et de l'immunité envers des agents pathogènes, faiblesse, épuisement, détérioration du plumage et des problèmes de croissance;
- Problèmes dans la construction du nid ou altération de la fertilité, du volume de la ponte, du développement embryonnaire, du pourcentage d'éclosion ou de la survie des poussins;
- Effets génétiques tels que malformations, problèmes de locomotion, albinismes ou mélanismes partiels ou augmentation de tumeurs.

Les micro-ondes peuvent affecter, de manière négative, les populations d'oiseaux dans les lieux à contamination électromagnétique élevée. Parce qu'ils possèdent des systèmes magnétiques de navigation, les oiseaux sont capables de percevoir les champs magnétiques (LIBOFF & JENROW, 2000). Pour cette raison, ils pourraient activement éviter ces zones (BALMORI, 2003). Il est prévisible que les espèces les plus vulnérables soient celles qui ont pour habitude de se nourrir, de chanter, de dormir et d'installer leur nid à des endroits élevés ou sans protection comme les toits, les antennes ou les câbles.

Plusieurs millions d'oiseaux de 230 espèces meurent annuellement par collision avec les tourelles de

télécommunication aux Etats-Unis durant la migration (SHIRE *et al.*, 2000). On ne connaît toujours pas la cause concrète des accidents, bien qu'on sache qu'ils se produisent particulièrement les nuits de brouillard ou mauvais temps. Les oiseaux maîtrisent plusieurs systèmes d'orientation : les étoiles, le soleil, la connaissance de l'orographie et le champ magnétique terrestre (LIBOFF & JENROW, 2000). L'illumination des tours de télécommunication pourrait attirer les oiseaux qui volent dans l'obscurité, mais il est aussi possible que les accidents se produisent dans des circonstances de peu de visibilité à cause d'une altération de l'un des systèmes de navigation (perception du champ magnétique terrestre) par les radiations électromagnétiques des antennes. A ce sujet, plus d'investigation sont nécessaires.

Dans les zones les plus contaminées par les radiations électromagnétiques (rayon de 300-500 mètres autour d'une antenne, dans la direction d'émission du lobe principal), il se produit une détérioration de l'habitat optimal pour que les oiseaux s'y maintiennent, qui peut occasionner l'abandon des zones de nidification ou des dortoirs (BALMORI, 2003). Tenant compte des effets cumulatifs de ces radiations (ADEY, 1996), le temps de permanence est de grande importance pour évaluer les effets produits sur les oiseaux. La contamination électromagnétique n'est pas limitée aux noyaux urbains, puisque les infrastructures routières, les montagnes ou les promontoires de la côte hébergent fréquemment des émetteurs, installés dans le but de couvrir une grande superficie territoriale. Les effets des antennes sur l'habitat des oiseaux sont difficiles à quantifier, mais ils pourraient entraîner sa détérioration, générant des zones de silence sans mâles chanteurs ou couples reproducteurs. L'impact sur l'écosystème pourrait s'accroître par l'effet des radiations sur les populations d'invertébrés proies et sur les plantes qui réduiraient la nourriture disponible pour les oiseaux (BALMORI, 2003).



## Proposition de recherches

Les oiseaux peuvent tenir un grand rôle comme bio-indicateurs. Leur crâne plus mince, leur liberté de mouvements et l'utilisation de lieux avec de hauts niveaux de radiation électromagnétique leur confèrent une vulnérabilité particulière. Comme futures pistes d'investigation, nous suggérons de réaliser des suivis à long terme du succès des couvées, des dortoirs et de l'utilisation de l'habitat par des espèces que le comportement peut rendre plus vulnérables aux ondes.

Pour démontrer l'effet concluant des radiations de téléphonie mobile sur les oiseaux, il est nécessaire d'aborder des recherches dans lesquelles on inclut un groupe contrôle (non exposé) et un autre expérimental. Cette méthodologie est compliquée actuellement, compte tenu de l'ubiquité quasi absolue de ces radiations. Les travaux qui tentent

de mettre en rapport l'évolution numérique ou la présence des oiseaux avec les résultats des mesures des champs électromagnétiques de radiofréquences peuvent être de grand intérêt. L'étude des populations aviaires de parcs urbains et, à la campagne, de territoires voisins des installations de téléphonie peut être prioritaire. Pour étudier les différences de résultat entre zones en fonction de leur proximité et des niveaux correspondants de radiation électromagnétique, il peut être utile de considérer un rayon d'un kilomètre carré et d'y tracer des circonférences concentriques à des distances intermédiaires. Dans ces études, il faudra tenir compte de la direction du lobe principal de radiation. La réalisation d'études avec des oiseaux en captivité soumis à des micro-ondes en laboratoire peut également être d'un grand intérêt.

## Considérations finales

La contamination électromagnétique par micro-ondes devrait être considérée comme un agent potentiel de la diminution de certaines populations d'oiseaux. Au Royaume-Uni, où la législation est particulièrement permissive à ce sujet (les niveaux permis de micro-ondes sont 20 fois supérieurs à ceux d'Espagne), il s'est produit, dans les dernières années, un déclin accusé de plusieurs espèces d'oiseaux urbains (RAVEN *et al.*, 2003). Sa coïncidence dans le temps avec le déploiement de la téléphonie mobile ne doit pas être nécessairement une relation de cause à effet, mais le lien possible entre les deux événements devrait être étudié. Bien que ce type de contamination soit considéré par certains experts comme le plus récent et le plus grave actuellement (HYLAND, 2001), on n'a toujours pas développé de systèmes d'inspection et de contrôle qui empêchent ses effets pernicieux sur les êtres vivants.

Certains mécanismes biologiques d'action des radiations de micro-ondes sont encore inconnus, bien que plusieurs effets sur les êtres vivants, en dessous des niveaux autorisés actuellement, aient été suffisamment documentés. L'industrie de la

téléphonie pourrait être en train de profiter de la complexité des processus biologiques et physiques impliqués pour essayer de créer une atmosphère d'innocuité, niant de manière réitérée l'existence d'effets nuisibles pour les êtres vivants. C'est pour cette raison que les recherches relatives aux animaux ont une valeur toute spéciale : dans ce cas en effet on ne peut pas prétexter que leur effets sont psychosomatiques (HYLAND, 2000).

Il ne devrait pas exister de zones d'utilisation continue à hauteur des antennes ni à l'intérieur du faisceau émetteur dans un rayon de plusieurs centaines de mètres. Restreindre l'accès de la faune présente une complexité particulière, raison pour laquelle la réduction de la puissance d'émission des antennes apparaît comme l'unique solution viable et effective pour en prévenir les effets. Beaucoup de chercheurs préconisent une réduction drastique des niveaux émis sur les personnes et les écosystèmes, ce qui est techniquement praticable bien que plus coûteux pour l'industrie (HYLAND, 2001; HAUMANN *et al.*, 2002). Pendant que les recherches avancent, les niveaux d'exposition des êtres vivants ne devraient pas dépasser



0,1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  de densité de puissance, comme il a été recommandé à de nombreux congrès internationaux et dans de nombreuses publications. La recherche sur des systèmes émetteur/récepteur de puissances plus réduites peut également constituer un progrès (COOPER & GOLBURG, 1996; COOPER, 2003).

La controverse est fréquente quand le monde scientifique constate des effets sur la santé et l'environnement qui peuvent occasionner de grandes pertes économiques. Le bio-électromagnétisme se trouve à la frontière entre plusieurs disciplines

éloignées historiquement. Certains auteurs soutiennent que nous sommes en train d'assister à un changement de modèle en biologie (ADEY, 2003), qui rompt avec la tradition imposée depuis la physique traditionnelle et les sciences appliquées qui avançaient essentiellement que les radiations non ionisantes ne sont pas dangereuses pour la vie. Devant le tableau décrit ici, nous paraissent indispensables les recherches et les suivis de la faune et autres êtres vivants qui habitent près des antennes ainsi que le soutien de la part des autorités environnementales et sanitaires.

## Bibliographie

- ADEY, W. R. (1981) : Tissue interactions with non-ionizing electromagnetic fields. *Physiological Review*, 61 : 435-514.
- ADEY, W. R. (1996) : Bioeffects of mobile communications fields: possible mechanisms for cumulative dose in Kuster, Balzano & Lin (Eds.) : *Mobile communication safety*, pp. 95-131. Chapman & Hall. London.
- ADEY, W. R. (2003) : Electromagnetic fields, the modulation of brain tissue functions- A possible paradigm shift in biology. En. B. Smith & G. Adelman (Eds.) : *International Encyclopedia of Neuroscience*. New York.
- AGUILAR, M. (2001) : *Bioelectromagnetismo : Campos eléctricos y magnéticos y seres vivos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- ALTPETER, E. S., KREBS, T. H., PFLUGER, D. H., VON KANEL, J. & BLATTMANN, R. (1995) : *Study of health effects of Shortwave Transmitter Station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland*. Institute for Social and Preventative Medicine. University of Berne.
- ANTONOPOULOS A, EISENBRANDT H & OBE G. (1997) : Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutation Research*, 395 : 209-214.
- BALMORI, A. (2003) : Aves y telefonía móvil. Resultados preliminares de los efectos de las ondas electromagnéticas sobre la fauna urbana. *El Ecologista*, 36 : 40-42.
- BALODE, S. (1996) : Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. *Science of the Total Environment*, 180 : 81-85.
- BARDASANO, J. L. & ELORRIETA, J. I. (2000) : *Bioelectromagnetismo. Ciencia y Salud*. McGraw-Hill.
- BEASOND, R. C. & SEMM, P. (2002) : Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*, 33 : 175-178.
- BOE (BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO). (2001) : Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. BOE, 234 : 36217-36227.
- BURCH, J. B., REIF, J. S., PITRAT, C. A., KEELE, T. J. & YOST, M. G. (1997) : Cellular telephone use and excretion of a urinary melatonin metabolite. *Abstract of the Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, delivery & Use of Electricity*, San Diego, CA.
- CLEARY, S. F., CAO, G., LIU, L. M., EGGLE, P. M. & SHELTON, K. R. (1997) : Stress proteins are not induced in mammalian cells exposed to radiofrequency or microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, 18 : 499-505.
- COOPER, M. & GOLDBURG, M. (1996) : Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple. *Annual Review of Communications*, 999-1002.
- COOPER, M. (2003) : Antenas adaptables. *Investigación y Ciencia*, 324 : 41-47.
- DANIELLS, C., DUCE, I., THOMAS, D., SEWELL, P., TATTERSALL, J. & DE POMERAI, D. (1998) : Transgenic nematodes as biomonitors of microwave-induced stress. *Mutation Research*, 399 : 55-64.
- DASDAG, S., KETANI, M. A., AKDAG, Z., ERSAY, A. R., SAR, I., DEMIRTAS Ö. C. & CELIK, M. S. (1999) : Whole body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urological Research*, 27 : 219-223.
- DE POMERAI, D. I., DANIELLS, C., BARKER, S. L., SCOTT, S., DUCE, I. R., THOMAS, D. W., SEWELL, P. D. & TATTERSALL, J. E. H. (1999) : Effects of stress-inducing microwave radiation on lifecycle parameters in the nematode *Caenorhabditis elegans*. Presented at the *Twentieth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, St. Pete Beach, FL.
- DE POMERAI, D., DANIELLS, C., DAVID, H., ALLAN, J., DUCE, I., MUTWAKIL, M., THOMAS, D., SEWELL, P., TATTERSALL, J., JONES, D. & CANDIDO, P. (2000) : Non-thermal heat-shock



- response to microwaves, *Nature*, 405 : 417-418.
- DUTTA, S. K., GHOSH, B. & BLACKMAN, C. F. (1989) : Radiofrequency radiation-induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics*, 10 : 197-202.
- EULITZ, C., ULLSPERGER, P., FREUDE, G. & ELBERT, T. (1998) : Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport*, 9 : 3229-3232.
- FEDROWITZ, M., KAMINO, K. & LÖSCHER, W. (2004) : Significant Differences in the Effects of Magnetic Field Exposure on 7,12 Dimethylbenz(a)anthracene-Induced Mammary Carcinogenesis in Two Substrains of Sprague-Dawley Rats. *Cancer Research*, 64 : 243-251.
- FARREL, J. M., LITOVITZ, T. L. & PENAFIEL, M. (1997) : The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics*, 18 : 431-438.
- FREY, A. H. (1998) : Headaches from cellular telephones: are they real and what are the impacts. *Environmental Health Perspect*, 106 : 101-103.
- GARAJ-VRHOVAC, V., HORVAT, D. & KOREN, Z. (1991) : The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation. *Mutation Research*, 263 : 143-149.
- GARAJ-VRHOVAC, V. (1999) : Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. *Chemosphere*, 39 : 2301-2312.
- GRIGOR'EV, I. U. G., LUK'ANOVA, S. N., MAKAROV, V. P. & RYNSKOV, V. V. (1995A) : Total bioelectric activity of various structures of the brain in lowintensity microwave irradiation. *Radiatsionnaia Biologiii Radioecologii*, 35 : 57-65.
- GRIGOR'EV, I. U. G., LUK'ANOVA, S. N., MAKAROV, V. P., RYNSKOV, V. V. & MOISEEVA, N. V. (1995B) : Motor activity off rabbits in conditions of chronic low-intensity pulse microwave irradiation. *Radiatsionnaia Biologiii Radioecologii*, 35 : 29-35.
- GRIGOR'EV I. U. G. (1996) : Role of modulation in biological effects of electromagnetic radiation. *Radiatsionnaia Biologiii Radioecologii*, 36 : 659-670.
- GRIGOR'EV, I. U. G. (2003) : Influence of the electromagnetic field of the mobile phones on chickens embryo, to the evaluation of the dangerousness after the criterion of this mortality. *Journal for Radiation Biology*, 5 : 541-544.
- HARDELL, L., HALLQUIST, A., HANSSON, K., CARLBERG, M., PAHLSON, A. & LJLJA, A. (2002) : Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *European Journal of Cancer Prevention*, 11 : 377-386.
- HAUMANN, T., MÜNZENBERG, U., MAES, W. & SIERCK, P. (2002) : HF-Radiation levels of GSM cellular phone towers in residential areas. *2nd International Workshop on Biological effects of EMFS*. October, 2002. Rhodes (Greece) Vol 1 : 327-333.
- HEREDIA-ROJAS, L., RODRÍGUEZ-FLORES, M., SANTOYO-STEPHANO, E., CASTAÑEDA-GARZA, A. & RODRÍGUEZ-DE LA FUENTE, A. (2003) : Los campos electromagnéticos: ¿Un problema de salud pública? *Respyn*, 4 : 1-10.
- HIGASHIKUBO, R., CULBRETH, V. O., SPITZ, D. R., LA REGINA, M. C., PICKARD, W. F., STRAUBE, W. L., MOROS, E. G. & ROTI, J. L. (1999) : Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on the in vivo proliferation of the 9L brain tumor. *Radiation Research*, 152 : 665-671.
- HOCKING, B., GORDON, I. R., GRAIN, H. L. & HATFIELD, G. E. (1996) : Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Medical Journal of Australia*, 165 : 601-605.
- HOCKING, B., GORDON, I. (2000) : Decreased survival for childhood leukaemia in proximity to TV towers. Poster presented at the *Annual Scientific Meeting of the Royal Australasian College of Physicians in Adelaide*, SA, 2-5 May 2000.
- HYLAND, G. J. (1998) : Non-thermal bioeffects induced by low intensity irradiation of living systems. *Engineering Science and Education Journal*, 7 : 261-269.
- HYLAND, G. J. (2000) : Physics and biology of mobile telephony. *The Lancet*, 356 : 1-8.
- HYLAND, G. J. (2001) : *The physiological and environmental effects of non-ionising electromagnetic radiation*. Working document for the STOA Panel. European Parliament. Directorate General for Research. ICNIRP (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection). 1998. Guidelines for limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up 300 GHz). *Health Physics*, 74 : 494-520.
- JOCE (JOURNAL OFFICIEL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES) (1999) : Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz). 1999/519/CE.
- JOHNSON-LIAKOURIS, A. J. (1998) : Radiofrequency Sickness in the Lilienfeld Study: an effect of modulated microwaves. *Archives of Environmental Health*, 53 : 236-238.
- KEMEROV, S., MARINKEV, M. & GETOVA, D. (1999) : Effects of low-intensity electromagnetic fields on behavioral activity of rats. *Folia Medica*, 41 : 75-80.
- KLUG S., HETSCHER M., GILES S., KOHLSMANN S. & KRAMER K. (1997) : The lack of effects of nonthermal RF electromagnetic fields on the development of rat embryos grown in culture. *Life Science*, 61 : 1789-1802.
- KOIVISTO, M., REVONSUO, A., KRAUSE, C., HAARALA, C., SILLANMAKI, L., LAINE, M. & HAMALAINEN, H. (2000) : Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*, 11 : 413-415.
- KOLODYNKI, A. A. & KOLODYNSKA, V. V. (1996) : Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radio Location Station in Latvia. *Science of the Total Environment*, 180 : 87-93.
- KONDRA, P. A., SMITH, W. K., HODGSON, G. C., BRAG, D. B., GAVORA, J., HAMID, M. A. & BOULANGER, R. J. (1970) : Growth and reproduction of chickens subjected to micro-



- wave radiation. *Canadian Journal of Animal Science*, 50 : 639-644.
- KHUDNITSKII, S. S., MOSHKAREV, E. A. & FOMENKO, T. V. (1999) : On the evaluation of the influence of cellular phones on their users. *Meditsina Truda i Promyshlennaia Ekologiya*, 9 : 20-24.
- KRAMARENKO, A.V. & TAN U. (2003) : Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG : a brain mapping study. *International Journal of Neuroscience*, 113 : 1007-1019.
- KRUEGER, W. F., GIAROLA, A. J., BRADLEY, J. W. & SHREKENHAMER, A. (1975) : Effects of electromagnetic fields on fecundity in the chicken. *Annals New York Academy of Sciences*, 247 : 391-400.
- LIBOFF, A. R., & JENROW, K. A. (2000) : New model for the avian magnetic compass. *Bioelectromagnetics*, 21 : 555-565.
- LIN, J. C. (1994) : *Advances in electromagnetic fields in living systems*. Volume 1. Plenum Press. New York.
- LÖSCHER, W. & KÄS, G. (1998) : Conspicuous behavioural abnormalities in a dairy cow herd near a tv and radio transmitting antenna. *Practical Veterinary Surgeon*, 29 : 437-444.
- MAGRAS, I. N. & XENOS, T. D. (1997) : Radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics*, 18 : 455-461.
- MAISCH, D. (2003) : Children and mobile phones...Is there a health risk? The case for extra precautions. *Journal of Australasian College of Nutritional and Environmental Medicine*, 22 : 3-8.
- MALYAPA, R. S., AHERN, E. W., STRAUBE, W. L., MOROS, E. G., PICKARD, W. F. & ROTI, J. L. (1997) : Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiation Research*, 148 : 608-617.
- MANN, K. & ROSCHKLE, J. (1996) : Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology*, 33 : 41-47.
- MANN, K., ROSCHKE, J., CONNEMANN, B. & BETA, H. (1998) : No effects of pulsed highfrequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. *Neuropsychobiology*, 38 : 251-256.
- MARINO, A. A., NILSEN, E. & FRILOT, C. (2003) : Nonlinear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. *Bioelectromagnetics*, 24 : 339-346.
- MARKS, T. A., RATKE, C. C. & ENGLISH, W. O. (1995) : Strai voltage and developmental, reproductive and other toxicology problems in dogs, cats and cows: a discussion. *Veterinary and Humal Toxicology*, 37 : 163-172.
- MASHEVICH, M. , FOLKMAN, D., KESAR, A., BARBUL, A., KORENSTEIN, R., JERBY, E. & AVIVI, L. (2003) : Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics*, 24 : 82-90.
- MICHELOZZI, P., ANCONA, C., FUSCO, D., FORASTIERE, F. & PERUCCI, C. A. (1998) : Risk of leukemia and residence near a radio transmitter in Italy. *Epidemiology*, 9 : 354.
- MONTEAGUDO, J. L. (1997) : Bioelectromagenetismo y salud pública: efectos, prevención y tratamiento. In J.L. Bardasano (Ed.) : *IBASC*, pp. 201-210. Alcala de Henares.
- NAVARRO, E. A., SEGURA, J., PORTOLÉS, M. & GÓMEZ PERRETTA, C. (2003) : The microwave Syndrome: A preliminary Study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22 : 161-169.
- NIKOLAEVICH, N., IGOREVNA, A. & VASIL, G. (2001) : Influence of High-frequency Electromagnetic Radiation at Non-thermal Intensities on the Human Body (A review of work by Russian and Ukrainian researchers). *No place to hide*, 3. Supplement.
- NOVOSELOVA, E. T. & FESENKO, E. E. (1998) : Stimulation of production of tumor necrosis factor by murine macrophages when exposed in vivo and in vitro to weak electromagnetic waves in the centimeter range. *Biofizika*, 43 : 1132-1133.
- OLCESE, J. M. (1990) : The neurobiology of magnetic field detection in rodents. *Progress in Neurobiology*, 35 : 325-330.
- PAULRAJ, R., BEHARI, J. & RAO, A. R. (1999) : Effect of amplitude modulated RF radiation on calcium ion efflux and ODC activity in chronically exposed rat brain. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 36 : 337-340.
- PETRIDES, M. (2000) : Exposure to electromagnetic fields by using cellular telephones and its influence on the brain. *Neuroreport*, 15 : F 15
- RAVEN, M. J., NOBLE, D. G. & BAILLIE, S. R. (2003) : *The Breeding Bird Survey 2002*. BTO Research Report 334. British Trust for Ornithology, Thetford.
- ROSCHKE, J. & MANN, K. (1997) : No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18 : 172-176.
- SALFORD, L. G., BRUN, A. E., EBERHARDT, J. L., MALMGREN, L. & PERSSON, B. R. (2003) : Nerve cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Environmental Health Perspectives*, 111 : 881-893.
- SANTINI, R., SEIGNE, M. & BONHOMME-FAIBRE, L. (2000) : Danger des téléphones cellulaires et de leurs stations relais. *Pathologie Biologie*, 48 : 525-528.
- SANTINI, R., SANTINI, P., SEIGNE, M. & DANZE, J. M. (2001) : Symptômes exprimés par des riverains de stations relais de téléphonie mobile. *La Presse Médicale*, 30 : 1594.
- SANTINI, R., SANTINI, P., DANZE, J. M., LE RUZ, P. & SEIGNE, M. (2002) : Enquête sur la santé de riverains de stations relais : I. Incidences de la distance et du sexe. *Pathologie Biologie*, 50 : 369-373.
- SANTINI, R., SANTINI, P., LE RUZ, P., DANZE, J. M. & SEIGNE, M. (2003A) : Survey Study of People Living in the Vicinity of Cellular Phone Base Stations. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22 : 41-49
- SANTINI, R., SANTINI, P., DANZE, J.M., LE RUZ, P. & SEIGNE, M. (2003B) : Symptoms experienced by people in vicinity



- of base stations: II/ Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors. *Pathologie Biologie*, 51 : 412-5.
- SHIRE, G. G., BROWN, K. & WINEGRAD, G. (2000) : *Communication Towers : A Deadly Hazard To Birds*. American Bird Conservancy.
- SIENKIEWICZ, Z. J., BLACKWELL, R. P., HAYLOCK, R. G., SAUNDERS, R. D. & COBB, B. L. (2000) : Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics*, 21 : 151-158.
- SMITH, C. W. & BESE, S. (1989) : *Electromagnetic man*. Dent & Sons. London.
- SZMIGIELSKI, S., BORTKIEWICZ, A., GADZICKA, E., ZMYSLONY, M. & KUBACKI, R. (1998) : Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Blood Pressure Monitoring*, 3 : 323-330.
- TANNER, J. A. (1966) : Effect of microwave radiation on birds. *Nature*, 210 : 636.
- TANNER, J. A., ROMERO-SIERRA, C. & DAVIE, S. J. (1967) : Non-Thermal Effects of Microwave Radiation On Birds. *Nature*, 216 : 1139.
- TANNER, J. A. & ROMERO-SIERRA, C. (1974) : Beneficial and harmful growth induced by the action of nonionizing radiation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 238 : 171-175.
- TANNER, J. A. & ROMERO-SIERRA, C. (1982) : The effects of chronic exposure to very low intensity microwave radiation on domestic fowl. *Journal of Bioelectricity*, 1 : 195-205.
- TSURITA, G., NAGAWA, H., UENO, S., WATANABE, S. & TAKI, M. (2000) : Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 21 : 364-371.
- URBAN, P., LUKAS, E. & ROTH, Z. (1998) : Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. *Central European Journal of Public Health* 6 : 288-290.
- VELIZAROV, S., RASKMARK, P. & KWEE, S. (1999) : The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 48 : 177-180.
- VOLLRATH, L., SPESSERT, R., KRATZSCH, T., KEINER, M. & HOLLMANN, H. (1997) : No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics*, 18 : 376-387.
- WEISBROT, D., LIN, H., YE, L., BLANK, M. & GOODMAN, R. (2003) : Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Cellular Biochemistry*, 89 : 48-55.
- WOLKE, S., NEIBIG, U., ELSNER, R., GOLLNICK, F. & MEYER, R. (1996) : Calcium homeostasis of isolated heart muscle cells exposed to pulsed high-frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 17 : 144-153.
- YOUBICIER-SIMO, B. J., LEBECQ, J. C. & BASTIDE, M. (1998) : Mortality of chicken embryos exposed to EMFs from mobile phones. Presented at the *Twentieth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, St. Pete Beach, FL.
- ZWAMBORN, A. P., VOSSEN, S. H., LEERSUM, B. J., OWENS, M. A. & MÄKEL, W. N. (2003) : Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO).

Alfonso BALMORI  
Calle Navarra 1/5ºB  
E-47007 Valladolid  
abalmori@ono.com

REMERCIEMENTS - M. Díaz, J.J. Sanz et plusieurs relecteurs anonymes ont amélioré de leurs commentaires les manuscrits successifs. César Balmori a apporté quelques précisions techniques. Le Centre d'Information et de Documentation Environnemental de Castille et Léon m'a fourni certains articles.

#### SUMMARY - Possible effects of the electromagnetic waves used in the wireless telephony on wildlife

A bibliographical revision of the possible effects of the waves used in the wireless telephony on animals is presented and its impact on wild birds is analyzed. After exposing the technical characteristics and the legal situation of this new technology, the scientific discoveries that could have interest for the study of their effects on the wild fauna are revised. Basing us on the current scientific knowledge the foregone possible consequences for the birds is commented, keeping in mind the deterioration of some ecosystems that they occupy. It is recommended to consider the

Keywords: telephony antennas, wild birds, bioelectromagnetism, bioindicators, electromagnetic pollution, non-thermal effects, microwaves, radiofrequencies

electromagnetic contamination in the microwaves range like a possible factor of decline of some populations in risk, especially of the urban birds, subjected at more radiation levels. Effects on birds in rural and protected areas that have phone masts near cannot be rejected. Keeping in mind that birds are excellent bio-indicators, we stick out the importance of carrying out studies that value the effects of this new type of contamination and some methodologies that could be useful for this purpose are presented.