



Restitution du programme de recherche santé-radiofréquences

Radiofréquences : de la mesure d'exposition à la recherche d'effets biologiques

Dossier du participant

25

septembre 2012

Maison Internationale
Cité internationale universitaire de Paris

Éditorial

Ces vingt dernières années, les technologies de l'information ont modifié les modes de vie, notamment à travers Internet et la téléphonie mobile. Cette évolution est loin d'être achevée et les technologies aussi bien que les usages sont encore amenés à évoluer. Cette mutation n'est pas sans paradoxe. D'un côté ces nouveaux produits sont plébiscités par la population, de l'autre ils suscitent de la méfiance, notamment du fait des ondes électromagnétiques nécessaires à leur fonctionnement. Ainsi, l'enquête du CRÉDOC de juin 2011 intitulée « Les français s'inquiètent de nombreux risques sanitaires » classe les téléphones mobiles parmi les technologies pas très sûres.

À l'instar d'autres sujets traités par l'Agence, la question de l'effet des ondes électromagnétiques est complexe. D'une part, c'est un sujet de recherche actif, souvent objet de controverses, qu'il s'agisse d'épidémiologie ou de la recherche d'effets sur le vivant. Ensuite, c'est un sujet très représentatif de ce que peut être l'expertise à l'Anses avec toutes les questions de méthodologie associées. Enfin, c'est un sujet de débat de société.

L'Anses est très active dans ce domaine.

Tout d'abord, en 2011, l'Agence a repris l'activité de l'ancienne Fondation « Santé et Radiofréquences » et désormais elle finance des projets de recherche dans le cadre du programme PNREST, sur des fonds provenant d'une taxe spécifique. Elle s'est fixée comme objectif d'amplifier l'effort de recherche et de diversifier les acteurs.

Ensuite, l'évaluation des risques liés à l'exposition de la population aux ondes est périodiquement mise à jour. Elle fait l'objet de nombreux travaux. Trois avis et rapports sur ce sujet ont été publiés, en 2003, 2005 et 2009. En 2011, l'Anses a créé un groupe permanent d'experts scientifiques indépendants, chargés d'actualiser ce travail. Un nouveau rapport sera publié courant 2013.

Enfin, cette thématique a été choisie par l'Agence pour créer un lieu d'échanges et de débats. Un comité de dialogue « Radiofréquences et Santé », réunissant l'ensemble des parties prenantes, a été créé en 2011. Il permet des échanges riches entre associations, industriels et chercheurs.

Ce colloque est l'occasion de faire le point sur les différentes facettes de ces activités. Au cours de ces sessions, le point sera fait sur les activités d'expertise et la recherche principalement à travers les projets de l'ex fondation « Santé et Radiofréquences ». Ces exposés sur les travaux de recherche seront complétés par une table ronde lors de laquelle des membres du comité de dialogue pourront s'exprimer. Parmi les sujets d'actualité, les expositions, les effets des ondes et le questionnement autour de populations qui seraient plus particulièrement sensibles aux ondes.

Pour conclure, la question des effets des ondes électromagnétiques sur la santé est emblématique des questionnements associés aux nouvelles technologies. Elle doit être traitée en prenant en compte toutes ces facettes scientifiques et sociétales.

Marc MORTUREUX
Directeur général de l'Anses

Session 1

Dosimétrie et mesure de l'exposition

Sonde électro-optique de mesure duale champ électrique/température

Lionel DUVILLARET⁽¹⁾, Gwenaël GABORIT⁽¹⁾, Philippe LEVEQUE⁽²⁾

(1) Kapteos & IMEP-LAHC, Le Bourget-du-Lac

(2) XLIM, Limoges

BIOGRAPHIE

Lionel DUVILLARET a obtenu son doctorat de physique en 1994 à l'université de Paris XI. De 1990 à 1994, il a travaillé sur l'échantillonnage électro-optique au sein de l'Institut d'électronique fondamentale à Orsay. De 1993 à 2005, il a développé des recherches sur la spectroscopie THz, la caractérisation électro-optique de champs électriques ainsi que sur les structures à bande interdite électromagnétique au sein du Laboratoire d'hyperfréquences et de caractérisation en tant que maître de conférences. Depuis 2005, il est professeur de l'Institut polytechnique de Grenoble et travaille au sein du laboratoire IMEP-LAHC où il poursuit ses recherches sur les mêmes thématiques. En 2005, il a passé 6 mois au CERN sur une expérience de physique fondamentale. En novembre 2009, Lionel DUVILLARET a fondé la société Kapteos qu'il dirige. Kapteos développe et commercialise des instruments de mesure des ondes électromagnétiques qui sont basés sur une technologie optique innovante. Lionel DUVILLARET est l'auteur de plus de 120 articles scientifiques et communications à des conférences internationales.

RÉSUMÉ

Introduction

Le projet BIOCAPTEO s'inscrit dans la problématique du développement de nouveaux moyens de métrologie pour la dosimétrie, en particulier pour la quantification de l'énergie absorbée par les milieux biologiques exposés *in vitro* ou *in vivo* aux signaux de télécommunications RF (de 850 MHz à 5 GHz). Le DAS (débit d'absorption spécifique) constituant la grandeur d'intérêt, tout moyen de mesure de dosimétrie doit donner accès au DAS avec la plus faible perturbation induite possible. Le DAS s'écrivant sous trois formes différentes faisant intervenir soit le champ électrique *in situ*, soit la densité de courant induit, soit l'élévation de température induite par l'exposition, il s'ensuit que plusieurs méthodes peuvent être employées. L'objet du projet a consisté en le développement de nouveaux moyens de mesure non perturbatifs.

Méthode

Le système de mesure développé consiste en des capteurs optiques fibrés autorisant simultanément soit la mesure de deux composantes du vecteur champ électrique, soit la mesure de la température et d'une composante du vecteur champ électrique. Le recours à l'optique permet d'éviter toute liaison galvanique fortement perturbatrice et autorise un déport à distance du transducteur de mesure. De surcroît, le transducteur optique étant basé sur l'utilisation d'un cristal de permittivité voisine de celle des milieux biologiques aux fréquences RF, la perturbation induite par le capteur est quasi inexistante. Enfin, pour certaines configurations, le capteur donne accès à deux mesures indépendantes du DAS, l'une basée sur la mesure d'élévation de température et l'autre sur celle du champ électrique.

Résultats

Les sondes et l'instrumentation associée qui ont été développées, ont permis la première mesure duale de DAS au sein d'un milieu biologique avec un même capteur, l'une à partir de la mesure du champ électrique *in situ* et l'autre à partir de la mesure d'élévation de température induite. Une différence inférieure à 5 % entre ces deux mesures, en accord avec des modélisations électromagnétiques 3D a permis de démontrer le très fort potentiel de la méthode. La partie transducteur des sondes électro-optiques fibrées développées est extrêmement compacte puisqu'elle se présente sous la forme d'un cylindre de diamètre inférieur à 4 mm pour une longueur de quelques dizaines de millimètres. La bande passante des sondes est plate de 30 Hz à 18 GHz, ce qui constitue de fait un record. L'instrumentation associée permet de couvrir l'ensemble de cette ultra large plage fréquentielle en deux fois, de 30 Hz et 10 MHz d'une part et de 10 MHz à 18 GHz d'autre part. En termes de sensibilité de mesure, le champ électrique minimal mesurable *in situ* (*in vitro*) est inférieur à 200 mV/m en CW et le bruit *rms* sur la mesure en température n'est que de 20 milliKelvin* soit de près d'un ordre de grandeur inférieur à celui obtenu avec une sonde de référence disponible dans le commerce. Les performances obtenues sont ainsi au niveau de l'état de l'art. Les développements menés dans le cadre du projet ont été poursuivis et ont donné lieu à l'industrialisation d'une première gamme d'instruments commercialisés par la société Kapteos depuis juillet 2012.

Conclusion

Le projet a pleinement rempli ces objectifs et s'est même poursuivi bien au-delà avec l'industrialisation d'une gamme d'instruments de mesure innovants permettant la mesure des ondes électromagnétiques et de la température dans tout type de milieu, liquide ou gaz. De nouveaux développements pourraient permettre de réduire fortement la taille des sondes pour réaliser des sondes endoluminales nécessaires à l'obtention de mesures *in vivo* sur l'animal par exemple. D'autres voies visant à grandement améliorer la sensibilité des capteurs sont également possibles, notamment une résolution en température inférieure au milliKelvin est tout à fait envisageable.

Projet 2008-5, réalisé entre 2008 et novembre 2010.

Evaluation de l'exposition professionnelle due aux stations émettrices

Amélie MASSARDIER-PILONCHERY, Martine HOURS

UMRESTTE, Lyon

BIOGRAPHIE

Amélie MASSARDIER-PILONCHERY obtient sa thèse de médecine en 2006 avec un DES de médecine et santé au travail. Elle prépare ensuite un master en épidémiologie.

Elle travaille depuis 2006 dans une équipe de recherche de l'université Lyon 1 : UMRESTTE, Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport travail environnement. Ses travaux portent notamment sur les risques physiques : le bruit et les radiofréquences, et principalement sur leurs expositions et impacts professionnels. Elle participe actuellement au groupe de travail « Radiofréquences et Santé » de l'Anses.

* Millième de degré

RÉSUMÉ

Introduction

En parallèle de l'augmentation de l'usage de la téléphonie mobile, de l'apparition de nouvelles générations de téléphones et de nouvelles utilisations du portable, les antennes émettrices de radiofréquences se développent en milieu urbain comme en milieu rural et sont souvent source de polémiques, d'inquiétudes, parfois accusées d'être à l'origine de symptômes physiques divers. Afin de pouvoir mener à bien des études d'impact, il est nécessaire d'évaluer et de quantifier l'exposition des populations. De même, connaître l'exposition professionnelle est intéressant à plusieurs niveaux : répondre aux questions des salariés et leur donner une estimation en termes d'« exposition reçue », caractériser l'exposition de cette catégorie professionnelle et optimiser le suivi médical qui en découle.

Méthode

Un sujet d'étude intéressant est l'ensemble des professionnels intervenant sur des sites d'antennes relais. La population retenue comprend les salariés des opérateurs de téléphonie mobile et des sous-traitants de maintenance de sites. Les mesures ont été faites sur des salariés contactés par le biais de leur médecin du travail et après accord de la personne. Une exposimétrie individuelle a été réalisée à l'aide d'un appareil de mesure porté par le salarié. Le recueil des informations a été fait par un hygiéniste du travail qui suivait le salarié au cours de sa journée de travail sur les divers sites d'intervention. Outre l'équipement du salarié avec l'exposimètre, il assurait une observation visuelle de ses faits et gestes pendant toute la phase d'intervention et remplissait un budget espace-temps.

Résultats

Les résultats des mesures ont été analysés de manière descriptive ; les mesures ont été mises en parallèle avec les réponses à un questionnaire et à un budget espace-temps.

Au total, 36 journées complètes de mesures au travail ont pu être analysées, avec une étude des bandes de fréquence allant de la FM au Wi-Fi. L'exposition en termes de fréquence dépend des tâches effectuées, du type de site, de l'utilisation du téléphone portable.

En l'absence d'indicateurs d'exposition reconnus, nos résultats ont été analysés en termes de médiane, moyennes, pics atteignant le maximal, temps passé au-dessus d'un certain seuil. Ces mesures ont été analysées par type de site (terrasses, pylônes, églises, château d'eau...).

Les moyennes d'exposition les plus élevées correspondent aux fréquences d'émission du portable (moyenne en GSMtx à 0,21 V/m) sur l'ensemble du temps de travail et à l'émission des antennes lors du temps passé sur les sites (moyenne en GSMrx à 0,20 V/m).

Tous les sites sont statistiquement inhomogènes entre eux, en termes d'exposition. Des facteurs interviennent sur l'exposition comme le lieu d'installation des baies.

Conclusion

L'observation d'une population de professionnels évoluant fréquemment dans un champ assez proche des antennes, donc possiblement plus exposée, augmente les chances de mettre en évidence un effet aussi minime soit-il. Au-delà des enregistrements, le suivi de ces salariés nous a permis de mieux comprendre leur travail et leurs difficultés, de réaliser une analyse des tâches effectuées et de préciser les postes de travail. L'évaluation exposimétrique, bien qu'étant contestable sur certains points est utile pour classer les expositions et donne une estimation de l'exposition de cette catégorie professionnelle.

Projet 2008-4, réalisé entre 2009 et 2012.

Conférence invitée

Métrologie et modélisation de l'exposition aux radiofréquences

François GAUDAIRE, Centre scientifique et technique du bâtiment, Grenoble

BIOGRAPHIE

François GAUDAIRE a obtenu le titre d'ingénieur de l'École nationale supérieure des ingénieurs électriciens de Grenoble, spécialité traitement du signal en 1994, puis le diplôme de docteur de l'Institut national polytechnique de Grenoble en 1997, en effectuant une thèse sur la caractérisation de l'affaiblissement électromagnétique des composants du bâtiment. Il travaille actuellement dans le pôle « Électricité éclairage électromagnétisme » du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) sur la modélisation et la métrologie en électromagnétisme.

RÉSUMÉ

Cette présentation traitera de la caractérisation des expositions aux champs électromagnétiques radiofréquences, à travers un état des lieux des méthodes et techniques en métrologie et en modélisation numérique.

Il sera d'abord question de la dosimétrie qui doit accompagner les études biologiques sur les effets potentiels des radiofréquences. Il s'agit de savoir caractériser et MAÎTRISER les systèmes d'exposition développés pour ces études. La problématique plus générale de la caractérisation de l'exposition des personnes et du public aux radiofréquences sera ensuite abordée. La multitude des équipements émetteurs d'ondes électromagnétiques, qu'ils soient mobiles ou fixes, et les multiples configurations d'exposition associées rendent très difficile une approche unique de caractérisation de l'exposition.

Pour chaque configuration, les différentes méthodes de mesure de l'exposition seront présentées avec leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications. Parallèlement, les méthodes actuelles de modélisation numérique seront décrites et illustrées.

On traitera des aspects réglementaires, c'est-à-dire de la vérification par la mesure ou par le calcul de la conformité de dispositifs par rapport à des valeurs limites (débit d'absorption spécifique, niveau de champ électrique ou magnétique), mais aussi de la problématique beaucoup plus complexe de la caractérisation de l'exposition réelle des personnes dans leur environnement.

Session 2

Étude de l'effet des radiofréquences in vitro et in vivo

Effet des radiofréquences sur la mémorisation et l'attention chez le rat

René DE SEZE, Mohamed AMMARI, Anne-Sophie VILLEGIER
INERIS, Verneuil-en-Halatte

BIOGRAPHIE

René DE SEZE est docteur de l'université de Bordeaux 1 en 1985, radiologue en 1991. Il a obtenu un DEA en physique en 1987 et un doctorat en sciences de la vie en 1991 à Bordeaux 2, puis une « Habilitation à diriger les recherches » à Montpellier 1 en 1999. Il a travaillé 10 ans au laboratoire de biophysique de Nîmes sur les applications thérapeutiques des rayonnements non-ionisants, puis sur les effets sur la santé des champs RF utilisés en téléphonie mobile. Depuis, il continue ce travail de recherche et d'expertise à l'INERIS, où il a été pendant 7 ans chef d'unité de toxicologie. Il a participé à plusieurs programmes de recherche français et européens et à plusieurs comités scientifiques. Il a été président et membre du bureau de plusieurs sociétés, et membre de groupes d'experts nationaux et internationaux.

RÉSUMÉ

Introduction

Le rayonnement émis par les téléphones mobiles constitue, de par sa proximité avec la tête des utilisateurs, une source d'exposition aux champs électromagnétiques importante pour l'homme et pose la question d'un risque sanitaire éventuel. Des travaux antérieurs montrent des effets de champs radiofréquences (RF) sur le comportement et sur des marqueurs biochimiques dans le cerveau du rat, notamment sur le marqueur de neurotoxicité GFAP (Glial Fibrillary Acidic Protein). Concernant ce dernier, son évolution peut être soit temporaire, inflammation sans conséquence grave, soit persistante, signe d'une gliose pathologique. Il est donc important d'étudier ce marqueur de neurotoxicité et d'évaluer s'il existe des déficits comportementaux qui lui sont corrélés, en particulier concernant la mémoire et l'attention.

Méthode

Les champs RF étaient à 900 MHz, modulés selon la norme GSM de télécommunication. La fréquence de répétition des impulsions était 217 Hz, et leur durée de 576 μ s. La tête des rats était exposée à l'aide d'antennes boucles. Le DAS local sur le cerveau était 1,5 et 6 W/kg. Des rats Sprague Dawley ont été utilisés pour les études biochimiques et sur la mémoire, et des rats Long Evans pour l'attention. Une dosimétrie thermique a été effectuée sur des fantômes en gel. Lors de la première partie de l'étude, on a recherché les effets d'une exposition sub-chronique (2 mois) et chronique (6 mois) sur la mémoire spatiale dans un labyrinthe radial, puis ceux d'une exposition chronique sur l'attention. Une deuxième partie de cette étude a porté sur la durée de l'augmentation de GFAP.

Résultats

Ces expositions ne montrent pas d'effets avec le labyrinthe radial à 8 bras sur le comportement des rats Sprague Dawley (mémoire spatiale et processus de rappels). Il existe par contre une diminution du pourcentage de réussite chez les rats Long Evans après une exposition chronique (15 min, DAS = 6W/Kg, pendant 6 mois) au niveau du test d'attention à 5 choix.

Les rats exposés de façon sub-chronique et chronique ont présenté une augmentation de l'expression de GFAP. Cette augmentation était retrouvée 3 jours après la fin de l'exposition de 2 mois, et était persistante 10 jours après des expositions de 2 mois et de 6 mois. Cette augmentation de GFAP au niveau des structures des cerveaux des rats exposés 15 min à un DAS = 6 W/Kg est un signe de gliose. Par contre chez les animaux exposés à un DAS = 1,5 W/Kg, cet effet ne persistait pas 10 jours après des expositions de 2 mois et 6 mois, ce qui est en faveur d'une simple hypertrophie des cellules gliales.

Conclusion

En raison du rapport d'échelle dans la dosimétrie entre le rat et l'homme (facteur 4), cette étude suggère que l'effet persistant après exposition chronique à un DAS de 6 W/kg chez le rat pourrait être produit chez l'homme au-delà de 24 W/kg, et que l'absence d'effet persistant après exposition chronique à 1,5 W/kg chez le rat pourrait être observée chez l'homme jusqu'à 6 W/kg. Ces expositions ne montrent pas d'effets néfastes sur le comportement des rats (mémoire spatiale et processus de rappels) avec le labyrinthe radial. On observe toutefois un effet sur l'attention. Celui-ci mérite d'être approfondi. Globalement, ces études sont rassurantes vis-à-vis des utilisateurs de téléphones portables quant aux dangers encourus au cours d'une communication.

Projet 2006-5, soutenu par la Fondation Santé et Radiofréquences, réalisé entre décembre 2006 et décembre 2009.

Effets des champs radiofréquences sur le jeune animal

Isabelle LAGROYE, Saliha AIT AISSA, Florence POULLETIER de GANNES

École pratique des hautes études, Pessac

BIOGRAPHIE

Isabelle LAGROYE obtient en 1997 ses diplômes de docteur en pharmacie et de docteur en sciences de la vie à la faculté de pharmacie de l'université Victor Segalen de Bordeaux. Elle travaille pendant un an aux États-Unis, notamment sur les effets génotoxiques des radiofréquences en utilisant la technique des comètes. Puis elle intègre le laboratoire de bioélectromagnétisme de l'École pratique des hautes études en 1999 en tant que maître de conférences. Aujourd'hui, elle travaille notamment dans le domaine environnement/santé, en particulier en bioélectromagnétisme.

Elle a participé à l'expertise collective sur les effets toxicologiques des champs magnétiques statiques, des champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et des champs électromagnétiques radiofréquences.

RÉSUMÉ

Introduction

La potentielle sensibilité accrue des enfants aux facteurs de l'environnement, y compris les champs électromagnétiques environnementaux, est une question débattue depuis quelques années. Dans le cas des champs radiofréquences, la population actuelle des jeunes est la première exposée de manière permanente aux

radiofréquences de la téléphonie mobile et autres systèmes de communications sans fils. Or, chez les jeunes, les systèmes immunitaires et nerveux continuent à se développer après la naissance et l'on sait que l'exposition à des toxiques de l'environnement durant l'enfance est susceptible d'interférer avec leur développement ou leur capacité future de réponse à l'agression par des agents extérieurs.

Méthode

Une chambre réverbérante a été conçue (Satimo, France) pour exposer les rongeurs « corps entier » de façon homogène et sans contrainte. Les animaux ont été exposés à un signal Wi-Fi, en aveugle à quatre niveaux de Débit d'absorption spécifique (DAS) corps entier, évalués à 0 (exposition sham); 0,08; 0,4 et 4 W/kg chez les femelles gestantes (Orange labs, France). Un groupe « contrôle cage » reste dans l'animalerie pendant l'expérimentation. L'effet est exploré (i) sur le cerveau chez le rat (apoptose neuronale, expression d'Hsp25 et Hsp70, réaction de gliose et de stress radicalaire) et (ii) sur le système immunitaire chez la souris (phénotypage des cellules spléniques, réponse proliférative des lymphocytes aux mitogènes, réponse d'activation et activité cytotoxique des cellules NK).

Résultats

Chez le rat, le DAS effectif absorbé par les mères et les petits a été évalué depuis la gestation jusqu'à 5 semaines, sur la base de mesures et observations. Des modèles numériques d'embryons de rat du 13^e jour au 21^e jour de gestation et de rats de 2 à 35 jours après la naissance ont ainsi été réalisés [Wu *et al.*, 2010]. Les fœtus sont exposés à un niveau supérieur ou égal à celui de la mère en fonction de l'âge: 5 W/kg en moyenne au 14^e jour et 4 W/kg en moyenne au 20^e jour pour 4 W/kg chez la mère. Les rats sont exposés à un DAS qui évolue au cours des 5 semaines après la naissance, au maximum 9 ± 3 W/kg pour les rats nouveau-nés. Pour chaque niveau de DAS, un groupe de 8 rats issus de mères différentes a été étudié. Les marqueurs ont été recherchés dans 10 zones du cerveau incluant l'hippocampe et le noyau putamen/caudé. Pour l'ensemble des zones et des conditions d'exposition, aucun signe d'apoptose, de gliose ou de stress radicalaire n'a été détecté et l'expression des protéines de choc thermique Hsp25 et Hsp70 n'a pas été modifiée. En complément, aucun néoantigène témoin d'altérations impliquées dans différentes pathologies neurologiques n'a été détecté dans le sérum. Chez la souris, l'exposition Wi-Fi n'a pas altéré les paramètres du système immunitaire étudiés: phénotypage des cellules spléniques, réponse proliférative des lymphocytes T et B aux mitogènes, réponse d'activation (production de cytokines IL2, TNF et IFN) et activité cytotoxique des cellules Natural Killer.

Conclusion

Sur la base des différents éléments obtenus sur des modèles simplifiés du cerveau et du système immunitaire humain en développement, notre conclusion est que le signal Wi-Fi ne présente pas d'effets délétères sur le développement d'organismes jeunes jusqu'à des DAS élevés. En effet, le DAS maximal expérimenté par nos petits rongeurs dépasse les normes d'exposition en vigueur. Le projet ERYA a testé l'effet des radiofréquences seules et sur des animaux sains.

Il serait intéressant de tester des expositions conjointes avec des agents environnementaux, ce qui constituerait une source complexe (mixture) plus proche de la réalité environnementale.

Projet 2006-6, soutenu par la Fondation Santé et Radiofréquences, réalisé entre janvier 2007 et septembre 2011.

Conférence invitée

Réponses cellulaires aux expositions millimétriques

Yves LE DREAN, Maxim ZHADOBOV, Ronan SAULEAU

Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail (IRSET), Université de Rennes 1

BIOGRAPHIE

Yves LE DREAN a passé son doctorat en 1993 et son « Habilitation à diriger des recherches » en biologie en 2007, à l'université de Rennes 1. Après un stage post-doctoral de 3 ans à l'Université de Toronto (Canada), il a été recruté en tant que maître de conférences à l'université de Rennes 1. Son principal sujet d'intérêt est le contrôle de l'expression génétique. Ses activités de recherche actuelles sont liées à la compréhension de la réponse cellulaire aux stress environnementaux. Ses travaux de recherche ont fait l'objet d'une trentaine de publications dans des journaux internationaux à comité de lecture et d'une cinquantaine de présentations dans des congrès nationaux et internationaux. Depuis 2005, il est activement impliqué dans le domaine du bioélectromagnétisme et il a intégré le groupe de travail « Radiofréquences et santé » de l'Anses en 2011.

RÉSUMÉ

Introduction

Les systèmes de communications sans fil se sont considérablement développés ces dernières années. En raison de la saturation actuelle des ressources spectrales et des besoins croissants en transmission haut débit, les fréquences de fonctionnement des technologies émergentes se décalent progressivement vers les ondes millimétriques (OMM). Ces nouvelles applications et usages induiront de nouveaux types d'expositions, inexistants auparavant. Il faut noter que ces ondes sont aussi utilisées en thérapie, ce qui laisse supposer des interactions possibles avec les organismes vivants. Il est donc de la plus haute importance d'évaluer les effets biologiques potentiels des OMM qui commencent à être utilisés en télécommunication et qui le seront de plus en plus dans le futur.

Méthode

Un système d'exposition pour études *in vitro* a été développé dans notre laboratoire. L'exposition aux OMM a été caractérisée du point de vue électromagnétique et thermique, numériquement et expérimentalement. La profondeur de pénétration des OMM étant très faible, nous avons utilisé comme modèle, des cultures de cellules de peau humaines. Nous avons combiné des approches de biologie moléculaire et cellulaire, afin de permettre une vision globale des effets potentiels. Nos travaux antérieurs (Le Quement *et al.*, 2012) avaient permis d'identifier un petit nombre de gènes potentiellement affectés par une exposition à 60,4 GHz. Par RT-PCR et immunocytochimie, nous avons analysé l'expression de ces gènes afin de déterminer quelles sont les conditions d'exposition qui affectent le plus les cellules.

Résultats

Le système d'exposition a été modifié pour atteindre jusqu'à 20 mW/cm² en densité de puissance incidente moyenne. Cette puissance correspond à la norme limite grand public pour les expositions locales (ICNIRP). Le DAS a été déterminé numériquement et expérimentalement à partir de mesures thermiques. Sachant que toute augmentation de température peut affecter les fonctions biologiques des cellules, nous avons défini où se situe la limite (en termes de conditions d'exposition : puissance, durée), du déclenchement d'une réponse au choc thermique dans notre système modèle. Ces données sont cruciales pour déterminer si les effets biologiques que nous détectons

sont dus à un effet indirect purement thermique, ou à un effet direct d'origine électromagnétique. L'expression des gènes marqueurs (codant pour des facteurs impliqués dans l'inflammation) a été mesurée et calibrée par celle de plusieurs gènes référents (gènes de ménage invariants). Pour comparaison, l'expression de marqueurs de choc thermique (gènes codant des protéines chaperons) a aussi été quantifiée. Pour les gènes marqueurs, nous avons observé une baisse statistiquement significative de l'expression dès que les niveaux de densité de puissance s'approchent de la limite supérieure de 20 mW/cm². Cette répression est spécifique car aucune modification significative n'est observée pour les gènes contrôles invariants. Par contre, dans ces conditions, nous enregistrons une forte augmentation de température, ce qui génère une réponse au choc thermique de la part des cellules. Des contrôles « choc thermique » ont été effectués et nous avons trouvé que l'élévation de la température induit la même baisse de l'expression basale des gènes marqueurs. Il est donc fort probable que les effets observés lors de l'exposition à 20 mW/cm², soient le résultat de l'effet thermique des OMM.

Conclusion

Les données obtenues à partir de gènes marqueurs montrent clairement que l'exposition aux OMM peut dans certains cas, interférer avec la physiologie cellulaire. Dans le cadre d'OMM à 60 GHz, nos expériences ont permis de définir la densité de puissance comme l'un des paramètres d'exposition les plus importants pour déclencher ces réponses cellulaires. L'un des points forts de notre recherche est la démonstration que ces effets biologiques n'apparaissent que pour des expositions à des densités de puissance suffisamment élevées pour générer une augmentation de température dans le milieu. En télécommunication, de telles conditions d'exposition ne pourraient se rencontrer que dans les cas particuliers, où l'antenne sera placée à proximité du corps (futur réseaux corporels sans fil).

Projet N°EST-10-124, soutenu dans le cadre du Programme national de recherche environnement-santé-travail, commencé en janvier 2011.

Session 3 Épidémiologie

MOBI-KIDS France « Technologies de communication, environnement et tumeurs cérébrales chez les jeunes »

Brigitte LACOUR, Dominique DELMAS, Thomas REMEN
ARECEA & Registre national des tumeurs solides de l'enfant, CHU Nancy

BIOGRAPHIE

Brigitte LACOUR obtient en 1991 ses diplômes de Docteur en médecine et d'études spécialisées en santé publique. Elle s'oriente vers l'épidémiologie des cancers de l'enfant et intègre l'équipe du Registre lorrain des cancers de l'enfant. Cette expérience lui permet d'activer et de diriger depuis 2000 le Registre national des tumeurs solides de l'enfant, qualifié par l'InVS, l'Inserm et l'INCa. Elle est également chercheur à l'UMRS 1018, Équipe 6 du Centre de recherche en épidémiologie et santé des populations. Brigitte LACOUR est membre de la SFCE, de l'ADEF, du Comité scientifique d'ACCIS (base de données du CIRC), du Bureau du réseau français des registres du cancer FRANCIM. Depuis 2009, Brigitte LACOUR est l'investigateur principal de l'étude *MOBI-KIDS* en France.

RÉSUMÉ

Introduction

L'augmentation rapide dans le monde de l'utilisation des téléphones portables depuis 10 ans a suscité un intérêt considérable sur la question de possibles effets des ondes radiofréquences sur la santé. Ces dernières années, l'usage de plus en plus important des téléphones chez les adolescents, et plus récemment chez les enfants, a particulièrement alimenté le débat. En effet, s'il existe un risque de développer une tumeur cérébrale liée à l'exposition aux radiofréquences, celui-ci est vraisemblablement plus grand sur un cerveau en développement.

L'étude *MOBI-KIDS*, menée au niveau international, a pour objectif d'évaluer le risque potentiel de tumeur cérébrale chez l'enfant et l'adolescent, lié à l'exposition aux champs électromagnétiques générés notamment par la téléphonie mobile.

Méthode

Il s'agit d'une étude cas-témoins qui inclut des patients âgés de 10 à 24 ans avec une tumeur cérébrale primitive, bénigne ou maligne. Pour chaque cas, 2 témoins hospitaliers appariés sur différents critères (âge, sexe, région d'étude) sont recrutés parmi les patients opérés pour une appendicite.

Les personnes recrutées sont sollicitées pour répondre à un questionnaire permettant d'évaluer leur exposition à des facteurs de risque éventuels: adresses (domiciles, lieux de travail), identification des sources d'exposition, mode d'utilisation des technologies de communication et antécédents médicaux personnels et familiaux. Avec leur accord, la consommation de téléphone portable sera validée par des relevés d'appels fournis par les opérateurs à partir des numéros de lignes.

Résultats

L'étude a été lancée officiellement le 1^{er} mars 2009. Au cours de la première année, ont été finalisés le protocole et les questionnaires nécessaires au déroulement de l'étude et nécessitant une traduction par les différents pays. Au cours de la deuxième année, après obtention des autorisations réglementaires, les contacts ont été pris afin

d'organiser l'étude *MOBI-KIDS* France dans différents départements du territoire métropolitain. Ainsi, 5 centres participent au recrutement de sujets : Bouches-du-Rhône (13), Hérault (34), Île-de-France (75, 92, 93, 94), Lorraine (54, 55, 57, 88) et Rhône-Isère (69, 38). La base de données a été diffusée, permettant la saisie des données en temps réel par les 5 enquêteurs travaillant en collaboration avec les services de neurochirurgie (cas) et chirurgie viscérale (témoins). Les entretiens ont commencé à partir de juillet 2011. Les patients interviewés sont très participatifs et montrent une grande volonté d'apporter leur contribution à la recherche. Les conventions sont signées avec les opérateurs téléphoniques, les premiers relevés d'appel ont été transmis.

Après un an de recul, il s'avère que le recrutement est en deçà des prévisions estimées sur la base des données du PMSI (30 cas inclus contre 105 prévus). Pour les témoins, le recrutement s'avère aussi plus difficile que prévu en raison des différents critères d'appariement et de la courte durée d'hospitalisation des patients opérés pour appendicite.

Conclusion

Du fait du retard général dans le démarrage de l'étude, le nombre de sujets attendus (235 pour la France, 1900 pour l'ensemble des pays participants) n'a pas été atteint au terme du calendrier initial. Afin de disposer du nombre de sujets requis pour assurer une puissance statistique suffisante, l'équipe de coordination internationale a décidé d'étendre la période d'inclusion jusqu'en septembre 2014.

En France, le recueil va donc être poursuivi jusqu'à cette date. Parallèlement, le recrutement débute en Alsace (67, 68) et une collaboration se met en place avec le Registre des tumeurs du système nerveux central de Gironde (33) afin d'augmenter le potentiel d'inclusions. Enfin, les données du PMSI vont être utilisées afin de vérifier l'exhaustivité du recueil.

Projet 2008-3, soutenu par la Fondation Santé et Radiofréquences, commencé en mars 2009.

Session 4

Électro hypersensibilité, recherches et perspectives

Conférence invitée

Des syndromes médicalement inexplicables à « l'hypersensibilité électromagnétique » : panorama général

Gérard LASFARGUES

Anses

BIOGRAPHIE

Gérard LASFARGUES est médecin, professeur des universités, praticien hospitalier et titulaire de la chaire de médecine et santé au travail à la faculté de médecine de Tours. Il est également spécialiste de médecine interne et responsable d'une consultation de pathologies professionnelles et environnementales au CHU de Tours.

En 2006, il a pris en charge le département des expertises à l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail puis a exercé les fonctions de Directeur général adjoint scientifique, fonctions qu'il assure encore à l'Anses depuis la création de cette Agence en 2010.

RÉSUMÉ

Dans la pratique médicale courante, un nombre important de personnes font état de symptômes liés à des affections que l'on ne peut identifier avec certitude vu l'absence de spécificité des signes cliniques et de marqueur diagnostique paraclinique. Ces symptômes ou syndromes physiques médicalement inexplicables (SMI) caractérisent des problèmes de santé tels le syndrome de fatigue chronique, la fibromyalgie, les sensibilités aux agresseurs chimiques (sensibilités chimiques multiples) ou aux champs électromagnétiques (CEM). Ils constituent un motif de consultation médicale de plus en plus fréquent. Les médecins généralistes admettent ainsi que 20 à 30 % des symptômes qui leur sont présentés ne trouvent pas d'explication « biomédicale ». Parmi ceux-ci, les plus souvent signalés concernent : fatigue, douleurs de diverses localisations, maux de tête, vertiges, troubles cognitifs (difficulté de concentration), de l'humeur, troubles du sommeil, symptômes d'irritation oculaires ou du nez, problèmes cutanés.

L'hypersensibilité aux champs électromagnétiques (HSEM) présente des analogies avec les sensibilités chimiques multiples (SCM). Il s'agit de troubles associés à des expositions environnementales de faible niveau, à des produits chimiques dans un cas, aux CEM dans l'autre, sans démonstration scientifique probante d'une relation entre ces expositions environnementales et ces symptômes, avec une situation clinique restant mal caractérisée et sans modalité de prise en charge validée. L'OMS utilise le terme générique descriptif d'intolérance idiopathique environnementale attribuée aux CEM pour faire état de l'absence de mécanisme physio-pathologique, biologique, toxique ou de sensibilité de type immuno-allergologique démontré.

Plusieurs revues systématiques de littérature ou méta-analyses récentes se sont intéressées aux relations entre expositions aux CEM et symptômes non spécifiques. Les sources considérées comme fortement et nettement causes de symptômes par les sujets électrosensibles sont les antennes relais et les téléphones mobiles, suivies par d'autres sources telles ordinateurs, ligne électriques, appareils divers (électriques, TV, fours micro-ondes). Les revues

systematiques des études contrôlées de provocation chez des patients exposés volontairement n'ont pas permis d'objectiver une capacité différente de celles de sujets témoins à distinguer les expositions réelles des expositions simulées. Les sujets avec HSEM ne déclaraient pas plus de symptômes lors des expositions réelles que lors des expositions simulées (Röösli *et al.* 2008, 2010, Rubin *et al.* 2009). Dans une revue systématique très récente (2012) des études d'observation suivie de méta-analyse, Baliastas *et al.* ont analysé la relation entre présence, sévérité de plusieurs symptômes (maux de tête, problèmes de concentration, fatigue, vertiges, sommeil) et expositions aux CEM à des niveaux inférieurs aux normes internationales. Ils n'ont pas retrouvé d'association significative directe entre fréquence, sévérité des symptômes et niveaux d'exposition. Toutefois, les associations entre expositions perçues et symptômes étaient plus régulièrement observées mais une méta-analyse n'a pu être effectuée du fait de l'hétérogénéité considérable entre études.

Dans l'HSEM comme dans les SMI de façon générale, l'évolution des symptômes vers la chronicité peut avoir des conséquences majeures sur la santé, que ce soit en termes de souffrance physique ou psychique, et sur la qualité de vie des personnes atteintes: isolement social progressif, évitement des expositions et organisation de la vie du patient autour de ce problème, incapacité de travail, multiples recours aux services de soin, difficultés financières dues aux déménagements et aménagements du domicile, à la perte d'emploi, etc. La prise en charge globale de ces patients ne peut se faire valablement qu'au moyen de projets de soins individualisés et négociés, en relation avec l'ensemble des acteurs susceptibles d'apporter leur expertise ou aide sur les différentes composantes (thérapeutique, sociale, professionnelle) de ce projet.

Comme cela est recommandé dans différents rapports d'agences de sécurité sanitaire (Anses, RIVM), des études épidémiologiques et cliniques restent aujourd'hui nécessaires, en utilisant des méthodologies affinées, précises et comparables d'évaluation des expositions et des symptômes. Les études s'intéressant aux expositions résidentielles aux CEM et leurs conséquences à long terme, et les études expérimentales ou cliniques explorant des hypothèses mécanistiques (dysfonctionnements sensitifs centraux et/ou périphériques) sont particulièrement utiles pour améliorer notre connaissance.

Conférence invitée

L'hypersensibilité électromagnétique est-elle liée à un dysfonctionnement du système sensitif ? Le projet HSEMsensi

Jean-Pierre MARC-VERGNES

UMR 825 INSERM/Université Paul Sabatier, Toulouse

BIOGRAPHIE

Docteur en médecine (Toulouse 1965) et en biologie humaine, option physiologie (Paris-Sud, 1974), ancien chef de clinique neurologique, Jean-Pierre MARC-VERGNES entre à l'INSERM en 1969. Il y crée une FRA puis, en 1983, une unité de recherche qu'il dirige jusqu'en 1995. Après des travaux sur la physiologie et physiopathologie de la circulation cérébrale, dont il publie, en 1985, le premier modèle mécanique global, il oriente son groupe vers le

développement de techniques d'imagerie fonctionnelle cérébrale appliquées à l'étude des fonctions cognitives chez des sujets normaux et malades. Ancien membre du CS de la Fondation Santé & Radiofréquences et du GT de l'Afsset, il siège actuellement au GT Radiofréquences et santé et au CS de l'APR environnement santé travail de l'Anses.

RÉSUMÉ

L'hypersensibilité électromagnétique ou électrohypersensibilité (EHS) est un concept mal défini et très controversé. Il repose uniquement sur les déclarations de personnes (HS-EM) qui attribuent à des expositions aux ondes électromagnétiques des symptômes fonctionnels extrêmement variés dont la sévérité, souvent négligeable, est parfois extrême. D'un côté, dans les pays occidentaux, des associations réclament avec plus ou moins de véhémence la création de lieux protégés. De l'autre, la quasi-totalité des recherches sur ce thème ont été incapables de mettre en évidence une relation de cause à effet entre ces expositions et ces symptômes, certaines d'entre elles ayant obtenu des résultats compatibles avec l'existence d'un effet nocebo à l'origine du syndrome. Cependant, quelques anomalies associées suggèrent que ces personnes pourraient présenter un dysfonctionnement de leur système sensitif: soit périphérique (baisse significative du seuil de perception cutané du courant électrique, Schröttner *et al.*, 2007), soit central (activation des cortex cingulaire antérieur et insulaire et du gyrus fusiforme pendant l'anticipation et l'exposition simulée à des radiofréquences de téléphonie mobile chez les HS-EM et non chez les témoins alors que, lors d'une activation calorique, ces aires corticales sont activées de façon similaire dans les deux groupes, Landgrebe *et al.*, 2008). La deuxième étude ouvre en outre la perspective d'une base physiopathologique à l'effet nocebo. Enfin, des auteurs ayant rapproché l'EHS et d'autres syndromes médicalement inexplicables, l'OMS a proposé d'appliquer à l'EHS le terme d'intolérance environnementale idiopathique (IEI) qu'elle avait créé en 1996 pour désigner le syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques (SIOC) établissant avec ce dernier une parenté terminologique dont les aspects cliniques et physiopathologiques n'ont, à notre connaissance, pas été précisés.

Pour tenir compte de ces divers éléments, le projet HSEMsensi a deux objectifs. Le premier est de tester l'hypothèse d'un hyperfonctionnement du système sensitif de sujets EHS, en répliquant simultanément les études de Schröttner *et al.* et de Landgrebe *et al.* avec des techniques mieux validées et/ou plus faciles à mettre en œuvre en pratique courante que celles utilisées par ces auteurs. Le deuxième objectif est de tester la validité et les limites du concept d'IEI proposé par l'OMS en comparant des sujets EHS et des sujets SIOC du point de vue clinique et physiopathologique.

Les seuils de perception cutanée de l'électricité seront mesurés à l'aide d'un appareil commercialisé et largement utilisé, le NEUROMETER CPT/C, qui permet de déterminer, de manière automatique et en double aveugle, le seuil de perception pour 3 fréquences correspondant aux 3 types de fibres nerveuses contenues dans les nerfs sensitifs, et qui est donc plus performant que le prototype conçu par Schröttner *et al.*

L'épaisseur corticale et la taille du thalamus seront utilisées comme test d'hyperfonctionnement sensitif central à la place de l'activation en IRMf de Landgrebe *et al.*. Mesurées à partir d'image IRM (1,5 ou 3T), en contraste T1 et acquise en 3D, à l'aide d'un logiciel développé par l'UMR INSERM 825 (40), l'épaisseur corticale a fait l'objet de nombreuses études depuis une dizaine d'années et peut être mesurée dans tout centre d'IRM.

La comparaison clinique entre sujets EHS et SIOC nécessite l'utilisation d'une échelle de symptômes, synthèse de l'échelle QEESI, référence pour le SIOC, et des multiples échelles appliquées aux sujets EHS.

L'étude portera sur 30 sujets EHS, 30 sujets SIOC et 30 témoins.

La mise en évidence d'hypothétiques altérations fonctionnelles et/ou morphologiques du système sensitif dans les deux groupes de patients, jointe à une grande proximité symptomatique, suffirait à expliquer leur symptomatologie fonctionnelle et signifierait que ces altérations seraient la cause première de cette dernière. Dans le cas inverse, d'autres hypothèses seront à discuter.

Session 5 – Table ronde

Point de vue des membres du Comité de dialogue « Radiofréquences & Santé »

Conférence invitée

Ces ondes qui nous menacent. Perceptions profanes des risques associés à quatre dispositifs émettant des ondes électromagnétiques

Patrick PERETTI-WATEL
Inserm, Marseille

BIOGRAPHIE

Patrick PERETTI-WATEL est sociologue à l'Inserm (UMR912 SESSTIM). Ces travaux portent en particulier sur la perception des risques et la prévention des conduites à risque, dans de multiples domaines.

RÉSUMÉ

Introduction

Le présent article s'intéresse aux perceptions profanes des risques associés aux ondes électromagnétiques émises par quatre dispositifs: les lignes à très haute tension (THT), le téléphone portable, le four à micro-ondes et le téléviseur. En mobilisant des données qualitatives (pour les seules lignes THT) et quantitatives, il s'agira de mieux comprendre ces perceptions, et ce qu'elles peuvent avoir en commun.

Méthode

Les données utilisées sont extraites du Baromètre Environnement EDF-R&D (2004). Il s'agit d'une enquête postale réalisée tous les deux ans depuis 1990 par l'Institut TNS Sofres. L'exercice 2004 a été conduit en mars auprès d'un échantillon de 2636 personnes âgées de 15 ans et plus, représentatives de la population française métropolitaine du même âge. Ces données sont anciennes mais permettent de mieux comprendre la perception des risques électromagnétiques. On mobilisera également des données plus récentes pour suivre les évolutions des risques perçus (Baromètre IRSN 2012).

Résultats

De nombreuses personnes s'inquiètent de l'impact des ondes électromagnétiques sur notre santé: elles interféreraient avec notre électricité naturelle, dérégleraient notre système nerveux, provoqueraient des cancers. Ces opinions s'appuient sur des conceptions profanes du corps, de la santé et de la maladie, et mobilisent diverses sources, plus ou moins légitimes, du discours expert à l'intuition personnelle. L'analyse statistique a mis en évidence un phénomène de cumul des risques perçus: les enquêtés qui pensent qu'un dispositif émetteur d'ondes est dangereux ont tendance à penser de même pour d'autres dispositifs. Enfin, les risques perçus pour ces différents dispositifs partagent des déterminants similaires, relatifs notamment à la conception du savoir valorisée par les enquêtés (vérité rationnelle versus vérité révélée).

Conclusion

Ces résultats suggèrent l'existence d'un cadre perceptif commun, qui présiderait à la façon dont nous percevons tout risque induit par des ondes. Ces perceptions ne sont pas réductibles à des « fausses croyances » : elles mobilisent des conceptions cohérentes du corps, de la santé et de la maladie, elles se nourrissent du nivellement contemporain des savoirs, et elles révèlent un rapport conflictuel des individus aux transformations que connaissent les sociétés contemporaines.

POSTERS

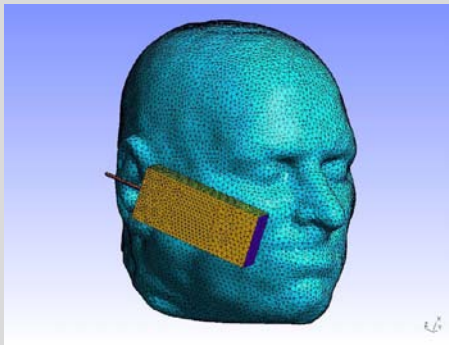
Mardi 25 septembre 2012

DONUT : Dosimétrie NUMérique sTatistique

Damien Voyer, laboratoire Ampère

OBJECTIFS

Objectifs : Développer, tester et valider une nouvelle méthodologie de dosimétrie numérique prenant en compte la variabilité des situations d'exposition afin d'en déduire directement une analyse statistique des effets de cette exposition.



Modèle de visible human fourni par l'INRIA

Partenaires :

- Laboratoire Ampère. Le laboratoire avait comme tâche d'écrire le code stochastique et de réaliser (avec XLIM et l'INRIA) les simulations numériques prévues dans le projet.
- Institut Camille Jordan. Le laboratoire a apporté son savoir faire en mathématiques appliquées autour des problèmes stochastiques.
- XLIM et INRIA. Outre la réalisation de simulations numériques, les deux laboratoires ont participé au choix des situations d'exposition et des modèles de têtes .

MODELISATION DES INCERTITUDES

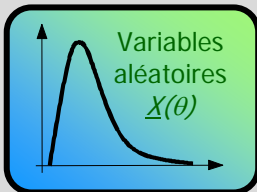
Cas déterministe :

Paramètres d'entrée X

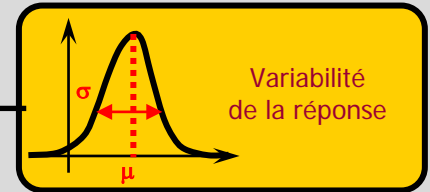
Modèle de calcul

Réponse $S(X)$

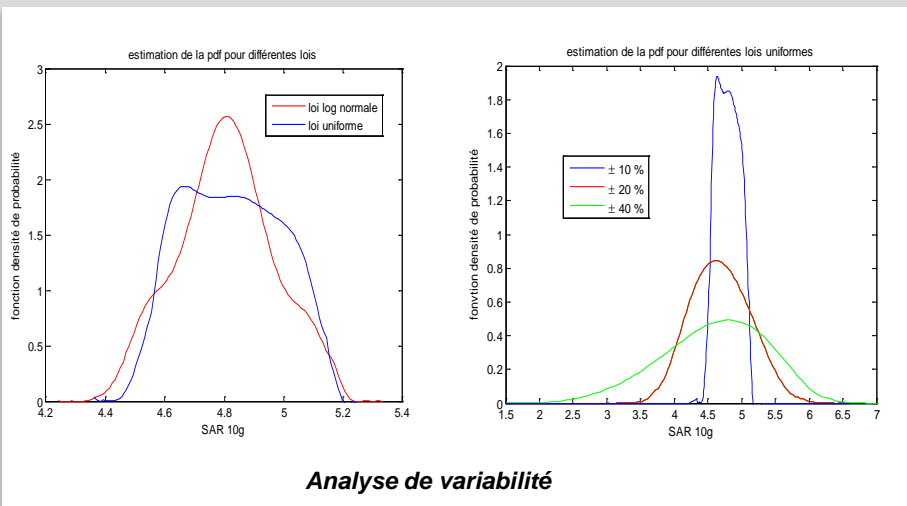
Cas incertain :



Réponse aléatoire $S(X(\theta))$



QUELQUES RESULTATS



paramètre électrique	loi uniforme ±40%	
	Variance partielle	Effet total
ϵ_r cerveau	4.4 %	4.4 %
σ cerveau	4.4 %	4.4 %
ϵ_r liquide céphalo-rachidien	4.4 %	4.4 %
σ liquide céphalo-rachidien	4.4 %	4.4 %
ϵ_r crâne	8.9 %	13.9 %
σ crâne	13.0 %	21.3 %
ϵ_r peau	7.6 %	18.6 %
σ peau	35.4 %	46.3 %

Analyse de sensibilité

Mardi 25 septembre 2012

MxDOS : Dosimétrie RF du projet « Moscou-Bordeaux »

Philippe LEVEQUE, en collaboration avec les groupes de Bernard VEYRET (Bordeaux) et Youry GRIGORIEV (Moscou)

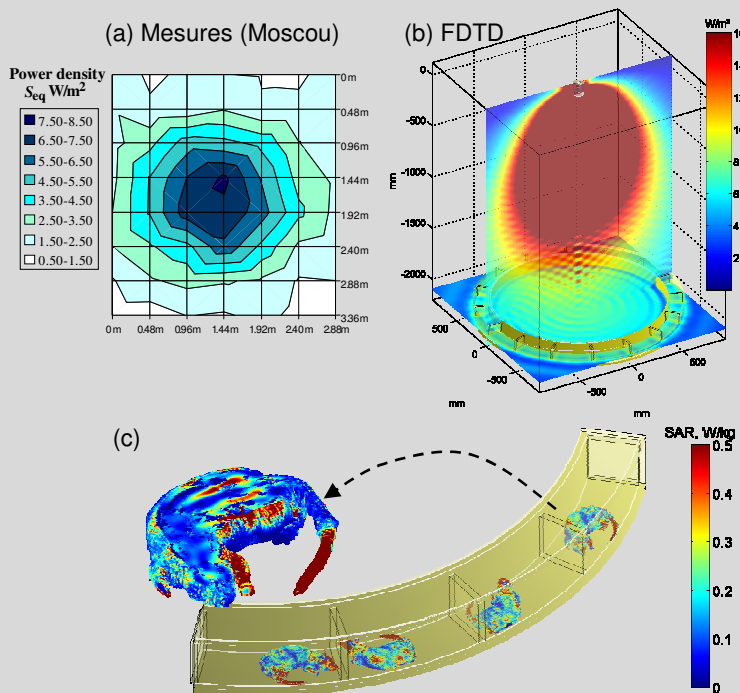
OBJECTIFS DU PROJET

Des travaux présentés dans des articles Russes et Ukrainiens montrent des effets sur le système immunitaire de rats exposés à des champs RF à la fréquence de 2375 MHz (0.1 à 10 W/m²). Ces effets biologiques ont été observés après une exposition de longue durée et faible intensité. En l'absence de dosimétrie précise, il a été jugé nécessaire de répliquer ces travaux par deux laboratoires indépendants. Sous le contrôle d'un groupe d'experts mis en place par l'OMS, ces expériences ont été menées par le PIOM-IMS (Bordeaux) et l'Institut de Biophysique (Moscou), XLIM ayant en charge, via le projet MxDOS, la dosimétrie des systèmes d'exposition utilisés lors de ces réplifications.

Les résultats attendus étaient les valeurs et incertitudes du débit d'absorption spécifique (DAS ou SAR) induites dans les rats et le contrôle des systèmes d'exposition (mesures des champs,...).

DOSIMÉTRIE

Les champs EM et les DAS induits ont été estimés en fonction de nombreux paramètres tels que : la polarisation et l'incidence de l'onde, la taille de l'animal, sa position dans la cage et la distance entre deux animaux.



Densité de puissance: (a) mesure, (b) simulée (FDTD),

DAS: (c) simulé (FDTD) pour 5 W/m² dans la zone d'exposition

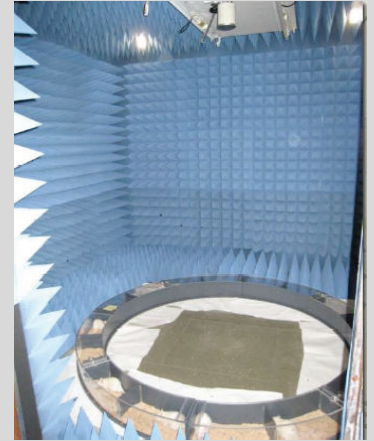
DISPOSITIF D'EXPOSITION

Le système d'exposition à 2450 MHz est constitué de :

- un générateur,
- une antenne héliçoïdale à polarisation elliptique,



- seize animaux placés dans des cages en plastique formant un anneau (un animal par compartiment).



Les conditions d'exposition correspondent à une illumination en champ lointain.

Dispositif d'exposition :
IMS Bordeaux - Groupe BioEM

RESULTATS ET CONCLUSION

Les densités de puissance et les DAS ont été caractérisés pour les systèmes d'exposition utilisés lors de la réplification d'études portant sur le système immunitaire chez des rats exposés « corps entier » à 2.45 GHz.

Pour une densité de puissance de 5 W/m², on obtient pour le DAS corps entier et la valeur moyenne au niveau du cerveau les valeurs suivantes:

Whole Body SAR = 0.16 ± 0.04 W/kg
Brain average SAR = 0.16 W/kg

Les résultats des études menées par le groupe de Bernard VEYRET à Bordeaux et par celui de Yuri GRIGORIEV à Moscou ont fait l'objet de deux publications.

[1] F. Poulletier de Gannes, M. Taxile, S. Duleu, A. Hurtier, E. Haro, M. Geffard, G. Ruffié, B. Billaudel, P. Leveque, P. Dufour, I. Lagroye, and B. Veyret, "A confirmation study of Russian and Ukuainian data on effects of 2450 MHz microwave exposure on immunological processes and teratology in rats," Radiation Research, vol. 172, pp. 617-624, 2009.

[2] Y. G. Grigoriev, O. A. Grigoriev, A. A. Ivanov, A. M. Lyaginskaya, A. V. Merkulov, N. B. Shagina, V. N. Maltsev, P. Lévêque, A. M. Ulanova, V. A. Osipov, and A. V. Shafirkin, "Confirmation studies of Soviet research on immunological effects of microwaves: Russian immunology results," Bioelectromagnetics, vol. 31, pp. 589-602, Dec 2010.

Mardi 25 septembre 2012

INUTER « Effets d'une exposition Wi-Fi *in utero* chez le rat : Tératologie et Toxicologie »

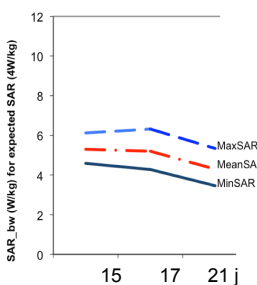
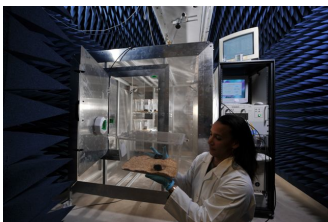
Lagroye Isabelle

OBJECTIFS

Les données scientifiques sur la sensibilité des embryons et des fœtus étant encore limitées, l'objectif global du projet INUTER est d'évaluer les effets d'expositions précoces répétées *in utero* à un signal Wi-Fi, sur le développement (tératologie), des altérations de l'ADN (génotoxicité) et sur la présence de marqueurs sériques indicateurs d'agressions (toxicologie).

EXPOSITION & TESTS

- Chambre réverbérante
- Signal Wi-Fi (2450 MHz)
- DAS corps-entier chez les fœtus

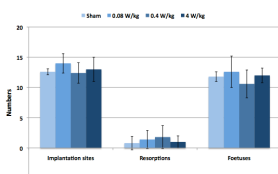


Les rats ont été exposés en aveugle, *in utero* 2 h/j, 6 j /sem, du 3^{ème} au 20^{ème} jour de gestation (18 jours). Les niveaux de débit d'absorption spécifique (DAS) chez la mère étaient 0; 0,08; 0,4 et 4 W/kg. Le DAS a été simulé chez les fœtus. Les paramètres suivis ont été la présence de malformations, l'altération du développement, la présence d'un marqueur de génotoxicité et de marqueurs de stress sériques chez les jeunes rats à différents âges.

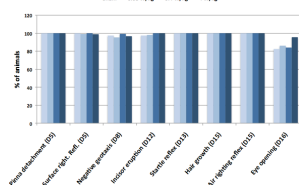
TERATOLOGIE

- Développement prénatal
- Développement postnatal

Collaboration: Evic France
Pouletier de Gannes et al., 2012



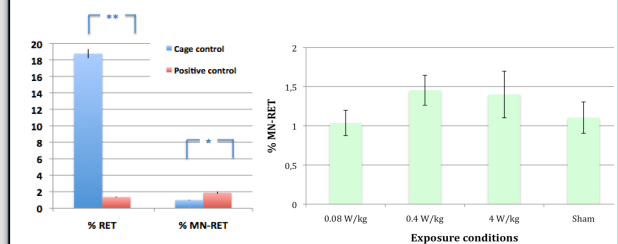
Cinq femelles par groupe sont examinées par césarienne (P20).



Le développement des petits de 15 portées par groupe est suivi au cours du mois suivant la naissance.

GENOTOXICITE

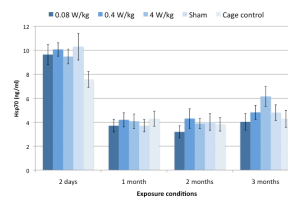
- % d'érythrocytes immatures micronucléés (MN-RET)



Sur les rats âgés de 2 jours, un prélèvement de sang a été réalisé permettant de rechercher la présence de micronoyaux dans les érythrocytes immatures.

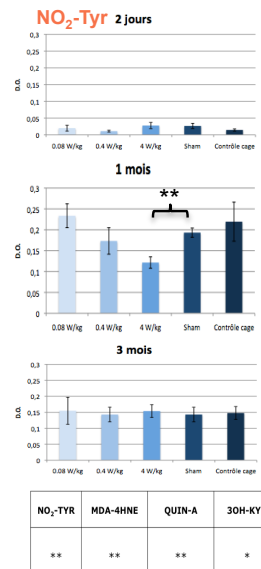
HSP27 ET NEO-ANTIGENES

- Hsp 70



Sur les rats âgés de 2 jours, 1, 2 et 3 mois, un prélèvement de sang a été réalisé permettant de rechercher, à l'aide de tests Elisa, l'expression de la protéine de stress Hsp70 et de néoantigènes marqueurs de processus physiopathologiques (inflammation, stress oxydant, neurodégénérescence, neurotoxicité, modifications lipidiques).

- Néoantigènes



CONCLUSIONS

Aucun effet n'a été détecté en termes de génotoxicité et d'expression d'Hsp70. Un effet transitoire a été détecté sur le système immunitaire à 4 W/kg, suggérant un retard de maturation du système immunitaire transitoire chez les rongeurs exposés *in utero* au DAS le plus élevé.

Mardi 25 septembre 2012

Evaluation des effets génotoxiques sur des amniocytes humains exposés aux GSM-900 grâce au caryotype en bandes R

Sylvie Bourthoumieu, Vanessa Joubert, Philippe Leveque, Catherine Yardin

OBJECTIFS

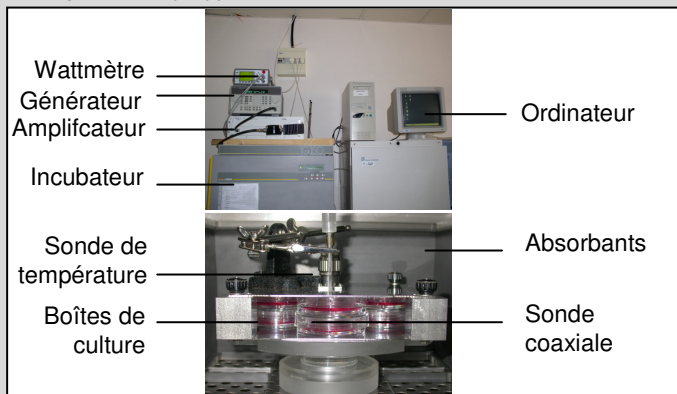
Etude des effets génotoxiques des ondes électromagnétiques à des fréquences utilisées par la téléphonie mobile (900 MHz ou GSM-900) sur des cellules amniotiques humaines grâce au caryotype (ou carte chromosomique d'une cellule ou d'un individu).

Intervenants :

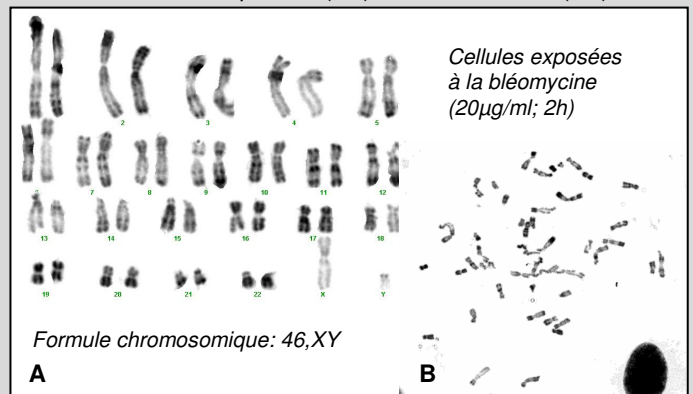
- physiciens: système d'exposition et dosimétrie
- biologistes: caryotype

METHODOLOGIE

100 métaphases / condition provenant de 4 échantillons de liquide amniotique ont été analysées. Le nombre de métaphases avec des anomalies de nombre, de structure chromosomique, le nombre total d'anomalies et le nombre de cassures chromosomiques pour 100 métaphases ont été évalués. Une analyse statistique a ensuite comparé les différents résultats obtenus en fonction des différentes conditions : cellules exposées (EX) versus « sham » (SE).



Système d'exposition: système fil-plaque

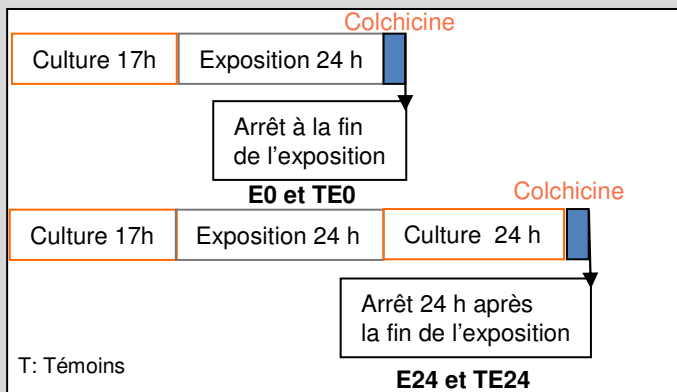


A) Caryotype en bandes R

B) Contrôles positifs

CULTURE DES AMNIOCYTES

Les amniocytes à une densité d'environ 100 cellules/ml ont été cultivés en présence de 50% d'amniomax® (milieu prêt à l'emploi, Gibco®, France) et 50% de RPMI 1640+L-glutamine (Gibco®, France) additionné de 5% de Sérum de Veau Fœtal (SVF) (Eurobio®, France), 50 UI/ml de pénicilline G et 50 µg/ml de streptomycine. La culture a été réalisée à 37°C en atmosphère humide avec 5% de CO₂.



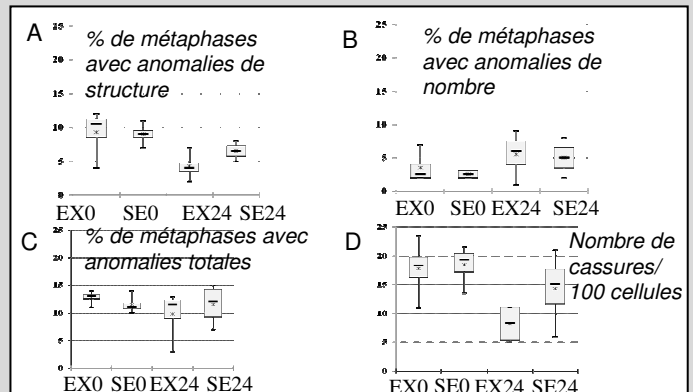
Protocole expérimental

RESULTATS et CONCLUSION

Aucune différence significative entre les différents paramètres testés n'a été mise en évidence entre les cellules exposées et les cellules sham (cf graphes ci-dessous).

En conclusion, nos résultats montrent que les radiofréquences n'induisent pas de lésions chromosomiques sur des cellules amniotiques exposées 24h à des GSM-900.

Ces résultats ont fait l'objet d'une publication dans Radiation Research (2010)



Résultats

BIBLIOGRAPHIE

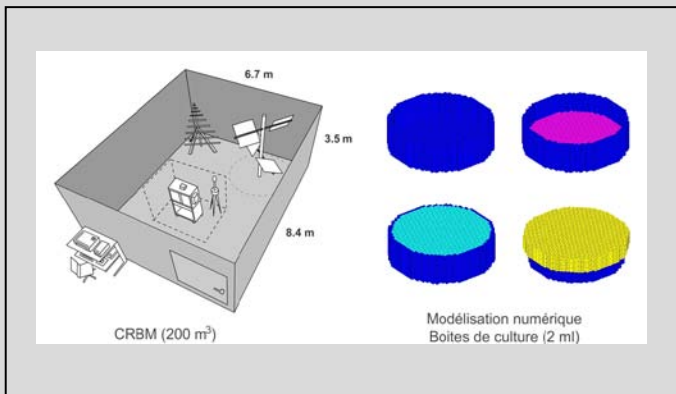
Cytogenetic studies in human cells exposed in vitro to GSM-900 MHz radiofrequency using R-banded karyotyping. S. BOURTHOUMIEU, V. JOUBERT, B. MARIN, A. COLLIN, P. LEVEQUE, F. TERRO, C. YARDIN Radiation Research, 2010, 174:712-718.

Mardi 25 septembre 2012

MAPHYS : analyse par biopuce à ADN de la réponse de kératinocytes humains à une exposition de faible amplitude en chambre réverbérante

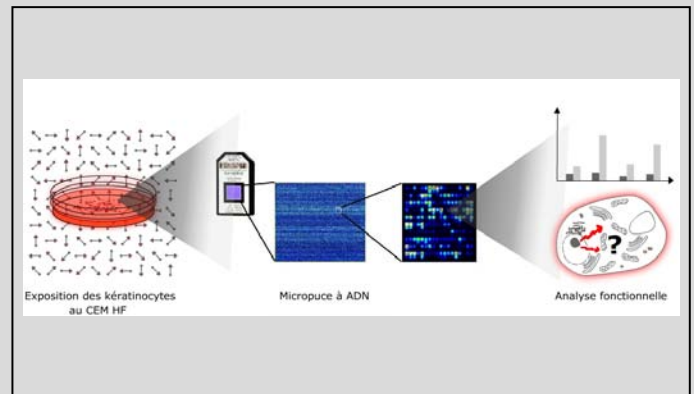
Alain VIAN, David ROUX, Sébastien GIRARD, Sébastien LALLECHERE, Françoise PALADIAN, Pierre BONNET

Objectifs de l'étude



- ♦ Contrôle de l'environnement EM des cellules humaines : vérification des lois de probabilité du CEM
- ♦ Contrôle de l'uniformité du CEM
- ♦ Evaluation numérique et expérimentale du DAS :
 - expérimentale : sonde de T° (250ms / 0.05°C)
 - numérique : FDTD (résolution du problème de facteur d'échelle : sommation d'ondes planes aléatoires)
- ♦ Vérification de l'uniformité du DAS / absence de couplages

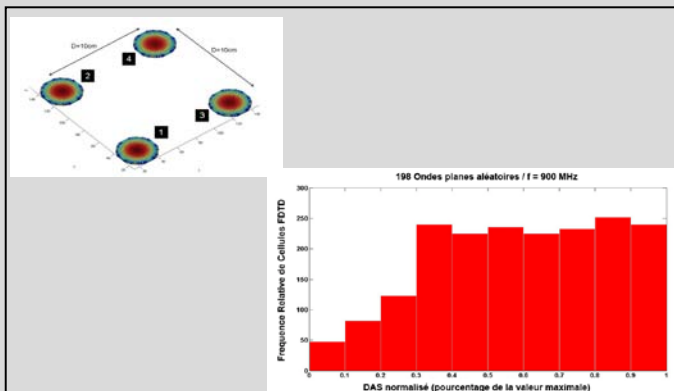
Méthodes



Etude des modifications d'expression du génome

- ♦ Approche gène candidat par PCR
- ♦ Interrogation de biopuces Affymetrix Témoins / stimulés HG-U133_Plus_2 (IGBMC)
- ♦ Validation des résultats en PCR quantitative
- ♦ Analyse différentielle des deux conditions EM testées

Résultats – Conclusions – Valorisation



Absence de couplage entre boîtes de cultures

- ♦ Au niveau des cellules : loi de probabilité identique à celle mesurée en CRBM vide

- ♦ Uniformité du CEM dans une boîte de culture
- ♦ DAS moyen $\langle E_{24} \rangle^* = 8 \text{ V/m} : 0.0026 \text{ W/kg}$
- ♦ DAS moyen $\langle E_{24} \rangle^* = 41 \text{ V/m} : 0.073 \text{ W/kg}$

Biopuce n°1 - 8 V/m x 10 min				Biopuce n°2 - 41 V/m x 30 min			
N°	Ratio EIS	Symbole Gène	Description	N°	Ratio EIS	Symbole Gène	Description
1	1.56	DYRK1A	tyrosine phosphorylation-regulated kinase receptor for interleukin 20 (IL20)	1	0.64	SCG5	secretogranin V (T22 protein)
2	1.56	LDORA	ribosomal RNA processing 5, processome	2	0.63	REL	v-vet reiculoendothelias viral oncogene homolog
3	1.31	RRP9	metastasis associated lung adenocarcinoma	3	0.63	ADFP	adipose differentiation-related protein
4	0.70	MALAT1	hect domain and RLD 2 pseudogene 3	4	0.66	NR1D2	nuclear receptor subfamily 1, group D, member 2
5	0.69	HERCIP2	heterogeneous nuclear ribonucleoproteins	5	0.61	AKAP12	A kinase (PRKA) anchor protein 12
6	0.68	HNRNPH1	idem	6	0.65	LEPR	leptin receptor
7	0.68	HNRNPA1	idem	7	1.60	KIAA0754	hypothetical LOC643314
8	0.67	---	protegrins and protegrin analogs	8	0.50	PK4	pyruvate dehydrogenase kinase, isozyme 4
9	0.66	---	RNA binding motif protein	9	0.66	---	---
10	0.65	HIRA	histone chaperone	10	0.66	KLHL24	kelch-like 24 (Drosophila)
11	0.65	---	contains Alu and MER1Y repetitive element	11	0.67	PCDH7	protocadherin 7
12	0.65	MALAT1	metastasis associated lung adenocarcinoma	12	0.60	HINT3	histidine triad nucleotide binding protein 3
13	0.59	---	human hepatocellular carcinoma	13	0.67	---	---
14	0.56	TacRNA	trophoblast derived non-protein coding RNA	14	0.63	---	---
15	0.56	TacRNA	idem	15	0.63	---	---
16	0.54	TacRNA	idem	16	0.66	---	---
				17	0.46	---	---

- ♦ Développement d'un protocole de culture adapté (NHEK – CRBM)
 - ♦ Deux expositions EM testées sur kératinocytes humains
 - ♦ Aucune modification significative de la quantité d'ATP après exposition
 - ♦ 54000 gènes interrogés par biopuce : 16 changements potentiels d'expression significatifs* pour la condition n°1 et 17 pour la n°2 (0.3 ‰).
- Ratios Exposés / témoins très faibles, compris entre 0,5 et 1,6
- ♦ Aucune variation significative obtenue par PCR quantitative

Lalléchère *et al.*, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 26, 257–290, 2010 – Roux *et al.* Bioelectromagnetics 32:302-311 (2010)



Mardi 25 septembre 2012

PERCEPTION DES RISQUES LIES A LA TELEPHONIE MOBILE ET SES DETERMINANTS

Valérie DENNY-BAS, Claude DE TYCHEY, Denis ZMIROU-NAVIER, Serge BRIANCON

Objectifs

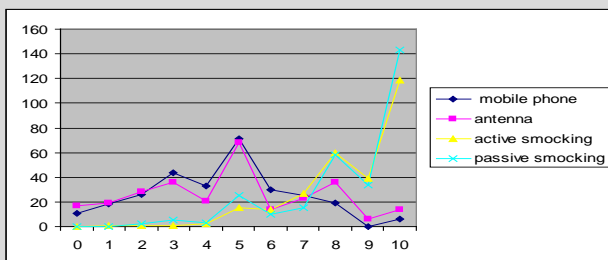
La perception d'un risque est un phénomène complexe, multi-dimensionnel, qui dépend de certaines caractéristiques de l'exposition (effet produit), en particulier du caractère non contrôlable du potentiel à provoquer des catastrophes sanitaires, de l'irréversibilité de l'effet, de la connaissance des effets sur la santé, des risques pour les générations futures et de caractéristiques propres aux individus de nature socio-démographique, cognitive, culturelle et psychologique, qui peuvent leur faire percevoir de façon différente un risque déterminé.

Objectif général de ce travail : identifier le niveau de perception du risque des radiofréquences, exposition émergente, pouvant faire l'objet d'une exposition active (téléphonie mobile) et d'une exposition passive (antenne relais), en la comparant à celle du tabagisme, exposition dont le risque est bien connu et comportant également une exposition active et une exposition passive.

Objectifs spécifiques :

- vérifier l'existence d'un effet produit (radiofréquence ou tabac) et d'un effet exposition active ou passive,
- identifier les facteurs prédictifs de la perception du danger, et plus spécifiquement les qualités intrinsèques du risque attribuées à l'exposition selon la classification de Covello,
- mettre en évidence un éventuel effet prédictif de l'état anxieux sur le niveau de perception du risque (non présenté ici).

Résultats



Distribution des scores de perception du danger lié à l'exposition au tabagisme

L'échantillon comporte à peu près autant d'hommes que de femmes. L'âge moyen est de 48,7 ans. 18% sont des fumeurs actifs, 20% sont exposés à un tabagisme passif, 71% déclaraient ne pas habiter à proximité d'une antenne relais, 75% étaient utilisateurs d'un téléphone mobile. Le danger attribué au tabagisme est très nettement supérieur à celui des radiofréquences. La distribution est similaire pour les expositions passives et actives de chacun des produits. Il existe une très forte corrélation entre les expositions actives et passives de chacun des deux produits, mais aussi une corrélation significative entre la perception du danger des radiofréquences et du tabagisme, marquant donc un fort effet produit, mais aussi un effet de perception globale des niveaux de risque.

Les caractéristiques intrinsèques du risque diffèrent, pratiquement toujours plus élevées pour les radiofréquences que pour le tabagisme ; la seule exception est le manque de bénéfices, plus élevés pour le tabagisme mais aussi pour les antennes relais. Les scores sont également plus élevés pour les expositions passives que pour les expositions actives. Les deux caractéristiques les plus explicatives du niveau de danger sont la perception du caractère incertain du risque et son potentiel catastrophique. Elles sont deux variables clés intermédiaires dans la chaîne causale qui va des caractéristiques individuelles à la perception du danger.

Retombées attendues

L'incertitude et le potentiel catastrophique sont des éléments importants contribuant à la perception accrue du danger. Ce travail apporte un nouvel éclairage sur les interactions complexes entre une dimension importante du fonctionnement psychique et les déterminants classiquement retenus de la perception du risque. La fiabilité des connaissances doit être améliorée, de façon à réduire les amplifications de risques générés.

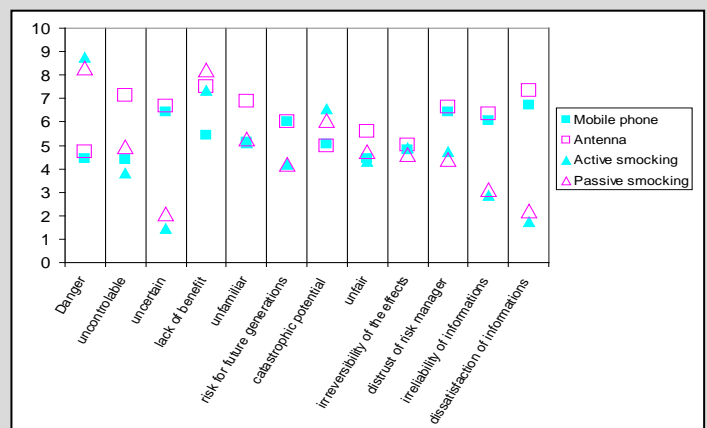
Matériel et méthode

- ✓ Population et échantillonnage : 290 sujets ont été recrutés à partir du suréchantillon régional lorrain du baromètre santé 2004 et d'un recrutement complémentaire. Après un entretien téléphonique avec un questionnaire sur les dangers de l'exposition à la téléphonie mobile, les personnes ayant donné leur accord ont reçu par la Poste un questionnaire auto-administré.

✓ Investigations: Elles portaient sur :

- les caractéristiques socio-démographiques,
- l'existence d'une exposition aux radiofréquences et/ou au tabagisme de façon active ou passive,
- le niveau de danger à l'aide d'échelles visuelles analogiques,
- la perception de 11 caractéristiques intrinsèques du risque : leur caractère non contrôlable, le bénéfice perçu, l'incertitude quant à la réalité des effets, l'irréversibilité de ces effets, la possibilité d'effets différés dans le temps, le potentiel à provoquer des catastrophes sanitaires, la distribution du risque dans la population, la confiance envers les pouvoirs publics, la qualité et la fiabilité des informations disponibles,
- le niveau d'anxiété-état mesuré par le questionnaire de Spielberger selon la forme et les méthodes de scoring international.

- ✓ Analyses statistiques. Les perceptions ont été estimées sous forme de moyenne et comparées en utilisant des modèles d'analyse de variance pour mesures répétées.



Scores moyens de danger perçu et des facteurs caractérisant le risque en fonction des différents types d'exposition

Mardi 25 septembre 2012

RISC - Radiofréquences : Identification des Sources de Controverse. Le cas de la RFID (convention n°2007-10)

Laura Draetta et Alexandre Delanoë

OBJECTIFS

Explorer la construction sociale du risque RFID à partir d'une analyse du débat public et des controverses

- Etude de la presse écrite grand public (55510 articles)
- Ethnographie dans le milieu de la R&D

PARTENAIRES

DEIXIS-Sophia, Dép. SES, Télécom ParisTech

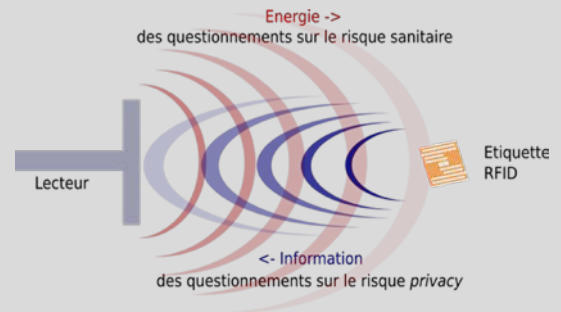
- Conception et réalisation du projet

OSIRIS, Observatoire sur les Risques, Université de Coimbra

- Co-conception protocole de recherche



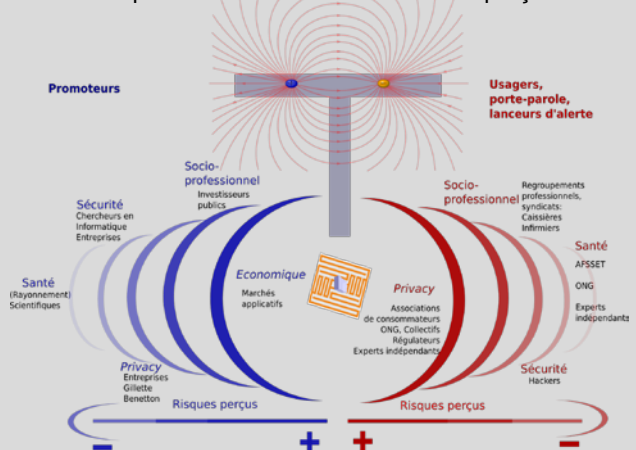
OBJET DE RECHERCHE



IDENTIFICATION PAR RADIOFREQUENCES

Une technologie mature mais fortement controversée

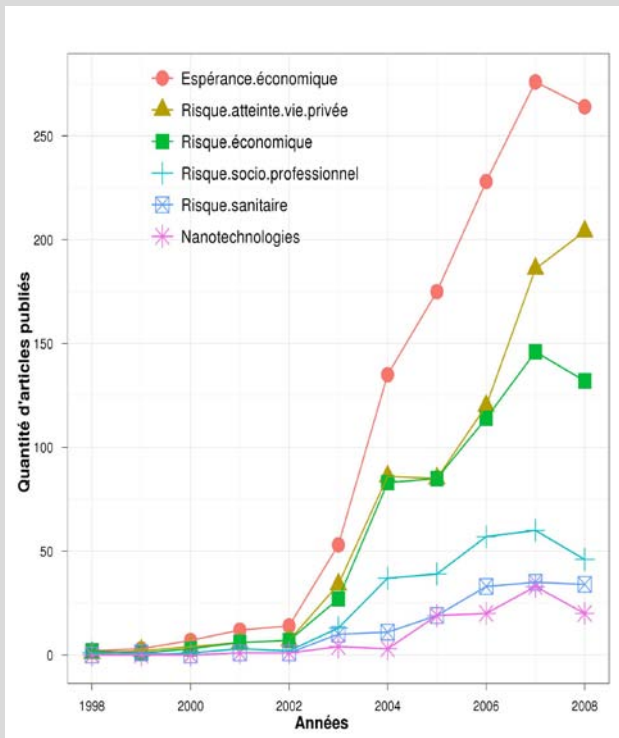
- Entre producteurs et marchés, des utilisateurs malgré eux
- Des usages émergents qui tardent à s'affirmer
- Des risques incertains mais socialement perçus



Typologie des risques perçus par catégorie d'acteurs

LE RISQUE SANITAIRE DANS LE DÉBAT PUBLIC

- Effet de dose électromagnétique et accumulation des RF(ID) avec celles d'autres technologies à radiofréquence (Wi-Fi, GSM, ...)
- Interférences en milieu sensible (hôpitaux)
- Rayonnement sur le lieu de travail
- Amalgame avec des technologies « voisines » (nanos, téléphonie mobile, Wi-Fi, ...)
- Implants sous-cutanés : risques pour la santé du porteur ?



De l'espérance à une interrogation sur les risques

Draetta L., Delanoë A., *RFID : une technologie controversée.*

Ethnographie de la construction sociale du risque, Hermès Sciences, 2012

