

Résumé et évaluation des études sélectionnées

D’août à octobre 2016, 79 nouvelles publications ont été identifiées et 8 d’entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d’experts BERENIS. Parmi ces 8 publications, 4, considérées comme particulièrement significatives, ont été sélectionnées aux fins de l’évaluation ; elles sont résumées ci-après.

1) Études animales et études cellulaires expérimentales

Champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence : effets possibles sur la santé – une métaanalyse d’ensembles de données existants (Parham et al. 2016)

Le but de l’étude de Parham *et al.* (2016), basée sur les données d’études déjà publiées portant sur l’expression des gènes, était d’examiner les relations entre les expositions à des champs électromagnétiques de basse et de haute fréquence, et des maladies ou les voies de signalisation et les voies métaboliques (ci-après les « voies ») sous-jacentes à ces dernières. À cet effet on a utilisé une procédure en trois étapes dans laquelle les gènes identifiés dans les études ont été mis en rapport avec des maladies et les voies évoquées. La procédure était fondée sur un algorithme complexe à trois étapes, soit (a) la mise en rapport des gènes, reliés à diverses maladies humaines, avec des voies moléculaires, (b) la mise en rapport des voies avec des données issues de microarrays BF-CM et HF-CEM/puces à ADN, et (c) l’identification des relations entre les maladies et l’exposition aux CEM, pour lesquelles les analogies entre les voies sont significatives. Cet algorithme évalue à quel point une voie génétique donnée est touchée par des modifications génétiques ou leurs produits. La plupart des voies découvertes étaient liées à des fonctions cellulaires ou métaboliques. La banque de données d’ontologie génétique (GAD) a été utilisée dans l’algorithme pour mettre en rapport entre eux les gènes liés à des maladies. Les ensembles de données CM-BF étaient sporadiquement couplés à des maladies, sans toutefois que ces couplages fournissent de modèle net. Les rapports entre les voies indiquent une possible relation avec le cancer, les maladies métaboliques, l’évolution et la fonction neurologiques. Ils étaient plus marqués pour les ensembles de données CM-BF que pour les ensembles CEM-HF. Cette approche méthodologique est prometteuse en vue de l’identification des domaines de recherche futurs porteurs d’espoir. La fonction neurologique et ses perturbations constituent un domaine ayant été identifié dans cette étude.

Influence du champ magnétique terrestre sur les mouvements cellulaires (Mo et al. 2016)

Dans une étude *in vitro* intéressante et menée avec rigueur, Mo *et al.* (2016) n’ont pas examiné l’effet des champs magnétiques artificiels sur les processus moléculaires de la cellule, mais celui du champ magnétique terrestre statique. À cet effet, les auteurs ont laissé se développer des cellules tumorales cérébrales humaines durant des périodes variables (3 heures à 7 jours) sous l’influence d’un champ dit hypomagnétique (CHM), soit un champ plus de 250 fois moins intense que le champ magnétique terrestre. On a tout d’abord constaté qu’après une exposition au CHM de sept jours l’ancrage des cellules à des boîtes de Petri non traitées en surface était réduit. Cet effet était cohérent et reproductible dès trois jours d’exposition au CHM, mais était déjà observable, de manière fluctuante certes, après des expositions de plus courte durée (3 et 48 heures). Par ailleurs, les auteurs ont montré au moyen d’analyses d’images automatisées et complexes que le CHM réduisait également les mobilités horizontale et verticale des cellules de même que la vitesse migratoire. En outre, ont été constatées des modifications de l’aspect des cellules, comme une

augmentation du volume cellulaire ou une différence dans les caractéristiques des processus cellulaires jouant un rôle dans le mouvement et la communication cellulaires. Les effets observés sur le mouvement et les caractéristiques cellulaires ont conduit les auteurs à supposer qu’il existait une relation entre les effets CHM et le cytosquelette, qui est constitué d’un réseau complexe de structures cellulaires filaires (filaments). Un des composants du cytosquelette est constitué par les filaments d’actine dont la présence est accrue à proximité de la membrane cellulaire et dans les processus cellulaires. Ces filaments peuvent être régulés par les cellules de manière très dynamique au moyen de la polymérisation et de la décomposition de protéines d’actine individuelles. Ils ne procurent pas uniquement de la stabilité mécanique, mais participent également à de nombreux processus membranaires. Les auteurs ont examiné les filaments d’actine en se basant sur cette relation ; après deux jours, ils ont observé, sur des cellules exposées au CHM, une diminution globale du nombre de filaments d’actine ainsi qu’une réduction du nombre de processus cellulaires filaires présentant des filaments d’actine. En outre, l’expression d’un régulateur central de la polymérisation de l’actine a été fortement modifiée, comparée à des cellules soumises au champ magnétique terrestre et était significativement plus basse après deux jours, ce qui explique la réduction du nombre de filaments d’actine. Enfin, la formation spontanée de filaments d’actine dans une solution de molécules d’actine isolées exposée au CHM a encore été prise sous la loupe. Dans ce contexte, on a observé une modification de la cinétique, la formation de filaments plus épais ainsi que des agglutinations non naturelles de protéines. Les résultats de cette étude indiquent que le champ magnétique terrestre exerce une influence directe sur le cytosquelette et, ainsi, indirectement, sur un grand nombre de mécanismes cellulaires. Bien que les observations faites dans le CHM n’aient qu’une signification sanitaire limitée, comme pour les astronautes ou lors de l’utilisation d’appareils médicaux à CM statiques, elles constituent toutefois un point de départ intéressant dans l’optique de la compréhension des effets susceptibles d’être exercés par des champs électromagnétiques sur les cellules. Ainsi, dans la littérature scientifique, les filaments d’actine ont-ils parfois été présentés comme des « antennes » possibles pour des CEM non naturels.

2) Revue de littérature

Estimation de l’exposition aux champs électriques et magnétiques de basse fréquence en Europe (Gajšek et al. 2016)

La publication de Gajšek *et al.* (2016) analyse les études publiées sur le thème de l’estimation de l’exposition aux champs électriques et magnétiques de basse fréquence ayant été effectuées dans des pays européens. Dans ce contexte, les fréquences allant jusqu’à 10 MHz sont considérées comme de basses fréquences. Dans les études examinées, réalisées au cours des trois dernières décennies, trois méthodes ont principalement été utilisées : (a) les mesures *in situ*, les mesures d’intensité de champ électrique ou magnétique en un lieu, soit dans des bâtiments ou en dehors de bâtiments à proximité d’installations électriques ou d’appareils ménagers ; (b) l’exposimétrie personnelle au moyen d’appareils portables (exposimètres) ; (c) la modélisation de l’exposition sur la base de la configuration des conducteurs électriques. De nombreuses études portaient sur l’exposition aux lignes à haute tension. À domicile, ce sont principalement les appareils ménagers, les installations de transformation électrique situées à proximité de la maison, les lignes à haute tension et le réseau électrique domestique qui sont à la source des expositions. La campagne de mesures la plus importante effectuée jusqu’à présent concernant l’exposition à des champs ayant des fréquences de 50 et 16 2/3 Hz dans les maisons d’habitation a été effectuée en Allemagne¹. Des études similaires

¹ Schüz J, Grigat JP, Störmer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J (2000) : **Extremely low frequency**

portant sur un plus petit nombre de lieux de mesure ont été effectuées au Royaume-Uni et en Autriche. Les mesures ponctuelles ne donnent pas de renseignements suffisants sur l’exposition moyenne des personnes se déplaçant dans différents environnements et exposées à diverses sources durant des périodes variables. C’est pourquoi, dans certains pays, des mesures ont été effectuées avec des appareils portables que des volontaires ont porté sur eux pendant un certain temps. Il ressort de la vue d’ensemble des études que l’exposition moyenne à des champs magnétiques de basse fréquence est de 0,05 à 0,2 μT , exprimée en densité de flux en extérieur. Des valeurs de quelques μT sont possibles sous des lignes à haute tension, aux murs de postes de transformation électrique et aux clôtures de protection de sous-stations du réseau d’alimentation électrique. À l’intérieur des bâtiments, les valeurs les plus élevées, pouvant aller jusqu’au mT, se trouvent à proximité du réseau électrique domestique et des appareils ménagers qui sont également utilisés en partie à proximité du corps comme les sèche-cheveux et les rasoirs électriques. Les sources usuelles pour les expositions à des fréquences dites « intermédiaires » (selon la littérature, il s’agit de la bande de fréquence allant de 300 Hz à 10 MHz) sont les cuisinières à induction, les lampes fluorescentes compactes, les chargeurs à induction pour autos et les installations de sécurité et les systèmes antiviol. Dans le domaine des « fréquences intermédiaires », aucune campagne de mesures systématique n’a été effectuée jusqu’ici ; il n’existe donc que des rapports isolés sur des mesures réalisées aux alentours de tels appareils. Pour les estimations futures du risque, les auteurs préconisent trois catégories d’exposition de la population : une exposition sporadique de diverses parties du corps, une exposition continue du corps entier à des intensités de champ accrues et une exposition continue à de faibles champs de fond dans la vie quotidienne. Les auteurs estiment que cette approche est impérative aux évaluations futures du risque lié aux champs électromagnétiques.

Seuils critiques des lésions thermiques – Rapport du workshop de l’ICNIRP-Task-Group (Sienkiewicz et al. 2016)

Il est acquis que le rayonnement micro-ondes émis par les appareils de communication sans fil est transformé en chaleur une fois absorbé par l’être humain. Les valeurs limites internationales prennent en compte cet effet thermique et les atteintes à la santé qui lui sont liées. La Commission internationale pour la protection contre le rayonnement non ionisant (ICNIRP) travaille actuellement à la révision des valeurs limites définies en 1998 en ce qui concerne les champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF). Un workshop portant sur les récents développements relatifs aux seuils critiques des atteintes thermiques s’est tenu à Istanbul du 26 au 28 mai 2015 afin de faire le point de la situation. Les participants ont confirmé qu’un échauffement dû à des CEM-HF est comparable à un échauffement dû à d’autres sources et que, de ce fait, les études correspondantes pouvaient être utilisées pour expliquer ou prédire l’effet des CEM-HF. Dans ce contexte, il s’est avéré que la température effective des tissus était plus déterminante que l’augmentation de température en ce qui concerne les effets nuisibles. On a cependant insisté sur le fait que toute modification de température pouvait induire un effet biologique et que certains effets CEM observés, qualifiés de « non thermiques », étaient dus *de facto* à de petites modifications de température. La thermorégulation est contrôlée par des senseurs périphériques et centraux, et influencée par un grand nombre de paramètres (p. ex. transpiration, vêtements). Chez les personnes âgées ainsi que chez les femmes, la thermorégulation est moins efficace que chez les personnes jeunes et les hommes. Pour les testicules, des températures supérieures à 35 °C sont considérées comme

magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. Radiat Environ Biophys. 2000 Dec ; 39(4) : 233-40. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11200967>

nuisibles. On notera cependant que la posture, les vêtements et l’état d’éveil comparé à l’état de sommeil peuvent provoquer chacun une variabilité de 1 à 2 °C. Dans la vie quotidienne, les augmentations de température induites par les CEM-HF sont relativement faibles. Les mesures de protection prises à des postes de travail exposés garantissent que la température interne ne puisse dépasser 38,0 à 38,5 °C. Une exposition du corps entier présentant une valeur TAS de 4 W/kg conduit à une augmentation de la température interne de 0,9 °C chez les personnes âgées après 30 minutes. Chez les personnes jeunes, l’augmentation de température était significativement plus faible. La chaleur s’évacuant difficilement des yeux, le cristallin est relativement sensible vis-à-vis des CEM-HF. Par principe, le seuil nuisible est plus difficile à déterminer pour une exposition d’une partie du corps que pour une exposition du corps entier. Les valeurs limites actuelles sont basées uniquement sur l’augmentation de température induite par les HF, un dépassement d’une température interne critique n’étant pas pris en compte. Il ressort de l’atelier que l’interaction entre chaleur et CEM-HF peut être critique. Lorsque l’exposition à la chaleur est déjà très élevée, un échauffement additionnel provoqué par les CEM-HF peut être critique, il y a donc lieu de l’éviter.

Bibliographie

Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G (2016) : **Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz-100 kHz)**. Int J Environ Res Public Health. 2016 Sep 1;13(9).
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27598182>

Mo WC, Zhang ZJ, Wang DL, Liu Y, Bartlett PF, He RQ (2016) : **Shielding of the Geomagnetic Field Alters Actin Assembly and Inhibits Cell Motility in Human Neuroblastoma Cells**. Sci Rep. 2016 Mar 31;6: 22624. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27029216>

Parham F, Portier CJ, Chang X, Mevissen M (2016) : **The Use of Signal-Transduction and Metabolic Pathways to Predict Human Disease Targets from Electric and Magnetic Fields Using in vitro Data in Human Cell Lines**. Front Public Health 4: 193.
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2016.00193/full>

Sienkiewicz Z, van Rongen E, Croft R, Ziegelberger G, Veyret B (2016) : **A Closer Look at the Thresholds of Thermal Damage: Workshop Report by an ICNIRP Task Group**. Health Phys. 2016 Sep;111(3): 300-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27472755>

Personne de contact

Stefan Dongus
Secrétariat BERENIS
Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH)
Département Épidémiologie et santé publique
Unité Expositions environnementales et santé
Socinstr. 57, case postale, 4002 Bâle
Tél. : +41 61 284 8111
E-mail : stefan.dongus@unibas.ch

Pour de plus amples informations, veuillez consulter les liens suivants :

[Le groupe consultatif d’experts en matière de RNI \(BERENIS\)](#)

[Lien vers la liste des abréviations](#)