

## Résumé et évaluation des études sélectionnées

De fin octobre 2019 à mi-janvier 2020, 71 nouvelles publications ont été identifiées et dix d'entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d'experts BERENIS. Parmi ces dix publications, cinq, 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 haute fréquence (CEM-HF) et spermatozoïdes des souris (Houston et al. 2019)*

L'étude de Houston *et al.* (2020) a porté sur les effets d'un champ de haute fréquence sur la qualité des spermatozoïdes et le tissu testiculaire de souris mâles adultes (C57BL/6). Les souris ont été laissées libres de leurs mouvements dans leurs cages lors de l'exposition (905 MHz, exposition du corps entier de 2,2 W/kg, 12 h/jour durant 1, 3 et 5 semaines). Le tissu testiculaire a été examiné histologiquement et le stress oxydatif ainsi que l'apparition de radicaux oxygénés ont été analysés par cytométrie de flux. Les lésions à l'ADN ont été déterminées par analyse des comètes à l'exception de celles subies par oxydation, qui l'ont été par immunofluorescence. En outre, des paramètres fonctionnels tels que la capacité de déplacement, la vitalité et la capacité de fécondation des spermatozoïdes ont été analysés *in vitro* tant chez les animaux exposés aux CEM-HF que chez ceux soumis à une exposition simulée. Les modifications dans le développement embryonnaire précoce ont également été étudiées.

Les résultats montrent une réduction de la durée de vie et de la capacité de déplacement des spermatozoïdes matures, mais n'indiquent aucune modification histopathologique dans le tissu testiculaire. Après une semaine d'exposition aux CEM-HF, une augmentation de la production de radicaux oxygénés mitochondriaux dans les spermatozoïdes a également été observée, ainsi qu'une hausse de l'oxydation de l'ADN des spermatozoïdes et de la fragmentation de l'ADN (cassures de brin simple) pour les trois durées d'exposition, l'effet le plus fort ayant été mesuré pour la durée la plus longue, soit cinq semaines. L'altération fonctionnelle des spermatozoïdes par une exposition aux CEM-HF pourrait être attribuée au stress oxydatif. L'altération la plus prononcée de la vitalité des spermatozoïdes était en effet corrélée avec les niveaux les plus élevés de radicaux oxygénés dans les spermatozoïdes et ces effets étaient également corrélés avec l'augmentation d'un autre biomarqueur du stress oxydatif (8\_OH-dG) dans les noyaux des spermatozoïdes. Cependant, ces modifications n'ont affecté ni la fertilité ni le développement embryonnaire précoce.

Le dispositif d'exposition était composé d'un conducteur d'ondes cylindrique similaire à ceux utilisés dans de précédentes études. L'étalonnage des intensités de champ a été effectué dans le conducteur d'onde vide. Le TAS du corps entier relatif aux intensités utilisées a été obtenu en prenant en compte des facteurs calculés pour d'autres études. Dans ce système d'exposition, la distribution du champ est fortement influencée par les animaux et la cage. L'ampleur des variations des valeurs de TAS chez les animaux en lien avec le conducteur d'ondes ne peut pas être estimée sur la base de l'étude. Il faudrait, à cet effet, prendre des mesures spécifiques supplémentaires. Un TAS de 2,2 W/Kg pour l'ensemble du corps (la valeur limite étant de 0,08 W/kg) entraîne une augmentation de la température centrale du corps. Des effets thermiques pourraient donc également jouer un rôle.

## **2) Études expérimentales réalisées sur l'être humain**

*Effets des CEM-HF sur le sommeil de personnes âgées (hommes et femmes) en bonne santé (Danker-Hopfe et al. 2020)*

Les études expérimentales réalisées sur l'être humain relatives aux effets des CEM-HF sur le sommeil concernent principalement de jeunes adultes et les résultats publiés sont hétérogènes. L'objectif de l'étude de Danker-Hopfe *et al.* (2020) était d'étudier les effets de l'exposition aux CEM-HF sur la macrostructure du sommeil (stades et structure) de personnes âgées (hommes et femmes âgés de 60 à 80 ans) et d'examiner s'il existe des effets spécifiques au sexe. Au total, 60 personnes (30 hommes et 30 femmes) ont chacune été exposées à deux types de champs, ainsi qu'à une condition de contrôle en l'absence de champ, durant 30 minutes avant le coucher et durant toute la nuit (7,5 heures) : GSM900 (*Global System for Mobile Communications*; fréquence porteuse 915 MHz, modulation 217 Hz, cycle opératoire 0,125, TAS maximum 2 W/kg) et TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*; fréquence porteuse 385 MHz, modulation 17,6 Hz, cycle opératoire 0,25, TAS maximum 6 W/kg). L'étude a été réalisée en double aveugle et randomisée. Pour chaque participant, les données ont été enregistrées pour neuf nuits (trois blocs avec trois conditions). Les expositions au GSM900 et au TETRA ont entraîné une réduction des moments d'éveil (c.-à-d. des réactions de réveil de courte durée) ainsi qu'une latence plus courte vers le sommeil profond et une durée totale d'éveil subjective plus courte durant la période de sommeil. Les effets de l'exposition aux CEM-HF différaient selon le sexe (effets significatifs plus nombreux chez les femmes) et selon la nature de l'exposition (GSM900 ou TETRA).

Toutefois, aucune relation dose-effet n'a été observée. Le rayonnement TETRA présentait une intensité plus élevée et pénétrait plus profondément dans le cerveau en raison de la fréquence plus basse. Cependant, indépendamment du sexe, les effets observés n'indiquaient pas que les CEM-HF induisent des troubles du sommeil et pourraient, au contraire, être interprétés comme effets induisant un sommeil consolidé.

## **3) Études épidémiologiques**

*Utilisation du téléphone portable, tumeurs de la thyroïde et interactions gènes-environnement : résultats d'une étude cas-témoins menée aux États-Unis (Luo et al. 2020)*

Dans leur étude cas-témoins, Luo *et al.* (2020) ont porté leur attention sur l'éventualité d'une relation entre l'utilisation du téléphone portable et l'apparition de tumeurs thyroïdiennes. La glande thyroïde est située dans le cou, sous le larynx ; elle est donc relativement proche du téléphone portable lorsque l'on passe un appel. Les hormones thyroïdiennes jouent un rôle important dans la croissance et le développement ainsi que dans les processus métaboliques de l'organisme. L'étude a porté sur tous les patients du Connecticut ayant reçu un diagnostic de tumeur thyroïdienne entre 2010 et 2011 qui étaient encore vivants. Les sujets témoins de même âge ( $\pm$  cinq ans) et de même sexe ont été choisis au hasard dans la population par l'intermédiaire de leur numéro de téléphone. Les données sur l'utilisation du téléphone portable et sur des variables confusionnelles ont été recueillies par le biais d'entretiens personnels. Au total, 498 sujets témoins (taux de participation de 62 %) et 462 patients (66 %) âgés de 21 à 84 ans ont participé à l'étude. Les principaux résultats de celle-ci ont déjà été publiés précédemment (Luo *et al.* 2019)<sup>1</sup>. L'utilisation du téléphone portable n'avait alors pas été

---

<sup>1</sup> Luo J, Deziel NC, Huang H, Chen Y, Ni X, Ma S, Udelsman R, Zhang Y (2019) : **Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut**. *Ann Epidemiol.* 2019 Jan; 29:39-45.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30446214>

associée avec le cancer de la thyroïde, mais une tendance non significative de risque accru avait été constatée chez les personnes utilisant intensément leur téléphone portable. La nouvelle publication (Luo *et al.* 2020) concerne l'étude de l'éventualité d'interactions gènes-environnement. À cette fin, 823 variantes génétiques (polymorphismes) de 176 gènes provenant de régions impliquées dans la réparation de l'ADN ont été analysées. Aucun des polymorphismes examinés n'était associé à l'apparition de tumeurs thyroïdiennes. Dix polymorphismes présents dans sept gènes différents ont montré une interaction statistiquement significative ( $p < 0,01$ ) avec l'utilisation du téléphone portable et les tumeurs thyroïdiennes.

Cette étude adopte une approche intéressante pour mieux comprendre le développement des maladies générées par les CEM-HF. Il manque toutefois une analyse de confirmation telle que celles généralement effectuées dans les études génétiques comparables. Dix résultats significatifs sur un total de 1646 tests statistiques sont inférieurs à ce que l'on attend sous l'effet du hasard ; il n'est donc pas certain que les interactions gènes-environnement observées soient réellement causales. Autres faiblesses de l'étude : le fait que l'utilisation du téléphone portable se base sur des auto-déclarations effectuées de façon rétrospective et la procédure de sélection aléatoire des numéros pour la sélection des contrôles, qui aurait potentiellement pu conduire à un biais dans les taux de participation des utilisateurs de téléphones portables par rapport aux utilisateurs de lignes fixes. Il est nécessaire d'approfondir les recherches sur ce sujet : d'une part, parce que l'antenne dans les nouveaux téléphones portables se trouve dans la partie inférieure de l'appareil et donc à proximité de la glande thyroïde lorsqu'une personne téléphone et, d'autre part, parce que le nombre de tumeurs de la thyroïde n'a cessé de croître ces dernières années et qu'il n'est pas certain que cette augmentation s'explique uniquement par l'amélioration des diagnostics<sup>2</sup>.

#### **4) Études dosimétriques**

*Optimisation des réseaux 5G en ce qui concerne l'exposition au rayonnement (Matalatala et al. 2019)*

Du fait de l'augmentation attendue des communications sans fil, il semble raisonnable de vouloir optimiser les infrastructures de réseaux mobiles en ce qui concerne la consommation d'énergie et l'exposition au rayonnement. L'étude dont il est question ici utilise des méthodes d'optimisation pour la conception de réseaux 5G avec antennes adaptatives (« MIMO massif ») en lien avec les emplacements et modalités des antennes, en ayant une consommation d'énergie minimale, en générant une exposition minimale due à la « liaison descendante »<sup>3</sup> et à la « liaison montante »<sup>4</sup>, et en atteignant une couverture de réseau maximale. À titre d'exemple d'application, une zone suburbaine de Gand (Belgique) a été étudiée. Une zone d'étude comportant un réseau dit multicellulaire a été conçue à cet effet, chaque cellule contenant une antenne de station de base dotée de plusieurs éléments d'antenne. Des scénarios de communication réalistes ont été simulés pour l'exploitation du réseau. Les auteurs ont calculé une dose qui représente la durée d'exposition multipliée par le TAS dans le corps au plus fort de l'exploitation de tous les éléments de l'antenne. L'étude a montré que l'utilisation d'un plus grand nombre d'éléments d'antenne par station de base réduit le nombre de stations de base nécessaires à l'exploitation d'un réseau doté d'antennes adaptatives. Cela a entraîné à son tour une diminution de l'exposition en liaison descendante (-12 % pour l'intensité du champ

---

<sup>2</sup> Li M, Dal Maso L, Vaccarella S (2020) : **Global trends in thyroid cancer incidence and the impact of overdiagnosis**. Lancet Oncology. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30115-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30115-7)

<sup>3</sup> Transmission depuis la station de base de téléphonie mobile vers un téléphone portable

<sup>4</sup> Transmission depuis un téléphone portable vers la station de base de téléphonie mobile

électrique et -32 % pour la dose issue de la liaison descendante) et une augmentation de la dose en liaison ascendante (+70 %), tandis que les doses en liaison ascendante et descendante augmentent en fonction du nombre d'utilisateurs simultanés. Pour la zone considérée, le réseau « MIMO massif » optimal trouvé était composé de 37 stations de base dotées chacune de 64 éléments d'antenne. Cette conception entraîne également une exposition cinq fois moindre en liaison descendante par rapport au scénario de référence 4G.

Cette étude de simulation présente une méthode permettant de planifier les réseaux dotés d'antennes adaptatives de manière à ce que, d'une part, moins de stations de base soient nécessaires et que, d'autre part, l'exposition de la population au rayonnement soit réduite. Ces simulations doivent être vérifiées par des mesurages.

#### *Spécification des valeurs limites relatives aux ondes millimétriques (Neufeld et al. 2020)*

Dans leur lettre publiée dans *Bioelectromagnetics*, Neufeld *et al.* (2020) soulignent le fait que les directives CEM-HF actuelles peuvent être violées lorsque le faisceau principal des antennes a des impulsions très courtes (1 ms et moins) ou lorsqu'il est très fortement focalisé (1 mm). Les auteurs font valoir que, dans ce cas, l'augmentation de température peut être décuplée par rapport à l'exposition à une onde plane de même puissance moyenne. Ils avancent en outre que, dans le cas de faisceaux étroits pulsés selon les lignes directrices proposées, des augmentations de température encore plus extrêmes peuvent se produire. Dans leurs conclusions, les auteurs demandent que les valeurs limites soient liées à la durée d'impulsion afin de protéger les utilisateurs de téléphones portables fonctionnant dans la gamme de fréquences de 6 à 30 GHz contre les augmentations de température supérieures à celles autorisées par les directives.

Les affirmations sont basées sur des données de simulation qui comprennent non seulement des champs électromagnétiques, mais également un modèle de thermorégulation de la peau. Ainsi, certaines hypothèses de base concernant les réactions physiologiques sont également incluses dans les modèles. Il convient de souligner que les affirmations s'appliquent aux sources émettant dans la gamme de fréquences de 6 à 30 GHz utilisées à proximité du corps. Les scénarios d'exposition décrits ne sont concevables que dans de telles situations. Toutefois, il reste à démontrer dans quelle mesure ces scénarios seront pertinents dans la pratique pour les dispositifs futurs. Il est évident que les directives actuellement applicables ne couvrent pas tous les cas de scénarios d'exposition théoriquement possibles. Cette question devrait être prise en compte lors de la prochaine révision des directives de l'ICNIRP ou réglementée par une clause additionnelle, si de telles situations d'exposition devaient être introduites à l'avenir.

## **Bibliographie**

Danker-Hopfe H, Dorn H, Sauter C, Schmid G, Eggert T (2020): **An experimental study on effects of radiofrequency electromagnetic fields on sleep in healthy elderly males and females: Gender matters!** *Environ Res.* 2020 Jan 24;183:109181. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32014649>

Houston BJ, Nixon B, McEwan KE, Martin JH, King BV, Aitken RJ, De Iuliis GN (2019): **Whole-body exposures to radiofrequency-electromagnetic energy can cause DNA damage in mouse spermatozoa via an oxidative mechanism.** *Sci Rep.* 2019 Nov 25;9(1):17478. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31767903>

ICNIRP (2020): **Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz).** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Health Phys. 2020 May;118(5):483-524. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32167495>

Luo J, Li H, Deziel NC, Huang H, Zhao N, Ma S, Ni X, Udelsman R, Zhang Y (2020): **Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: A population-based case-control study in Connecticut.** Environ Res. 2019 Dec 6;182:109013. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31918310>

Matalatala M, Deruyck M, Shikhantsov S, Tanghe E, Plets D, Goudos S, Psannis KE, Luc Martens L, Joseph W (2019): **Multi-Objective Optimization of Massive MIMO 5G Wireless Networks towards Power Consumption, Uplink and Downlink Exposure.** Appl Sci 2019, 9(22), 4974. <https://doi.org/10.3390/app9224974>

Neufeld E, Samaras T, Kuster N (2020): **Discussion on Spatial and Time Averaging Restrictions Within the Electromagnetic Exposure Safety Framework in the Frequency Range Above 6 GHz for Pulsed and Localized Exposures.** Bioelectromagnetics. 2020 Feb;41(2):164-168. Epub 2019 Dec 30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31885092>

### **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 81 11  
Courriel : stefan.dongus@swisstph.ch

---

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

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

[La liste des abréviations](#)