

Résumé et évaluation des études sélectionnées

De début novembre 2017 à mi-janvier 2018, 65 nouvelles publications ont été identifiées et huit d'entre elles ont été discutées de manière approfondie par le groupe d'experts BERENIS. Parmi ces huit publications, trois, considérées comme particulièrement significatives, ont été sélectionnées aux fins de l'évaluation ; elles sont résumées ci-après.

1) *Études animales et études cellulaires expérimentales*

Exposition aux hautes fréquences et stress oxydatif mitochondrial, apoptose et modifications des concentrations de calcium chez le rat (Ertlav et al. 2018)

L'étude *in vivo* d'Ertlav et al. (2018) porte sur une éventuelle influence exercée sur le canal TRPV1 (*transient receptor potential*) de neurones de l'hippocampe et sur le ganglion rachidien postérieur du rat par une exposition intermittente à des CEM-HF (900 et 1800 MHz) durant une année. Le canal TRPV1 fait partie de la superfamille TPR perméable au calcium et il est activé par différents stimuli comme la chaleur, la capsaïcine (présente dans les piments), le stress oxydatif ainsi que des pH acides. L'activation de ce canal résultant d'un stress mitochondrial oxydatif suppose des concentrations de calcium accrues dans les neurones impliqués non seulement dans des processus physiologiques, mais également dans des processus pathologiques comme l'apoptose (mort cellulaire programmée). Dans les cellules nerveuses de l'hippocampe et dans les ganglions rachidiens, cette protéine est présente en des quantités particulièrement élevées. Le TRPV1 intervient donc probablement dans la transmission de la douleur et dans les processus portant atteinte à l'hippocampe.

Des rats femelles Wistar (n = 8 + 8) âgés de 12 semaines ont été soumis à un rayonnement de haute fréquence (900 ou 1800 MHz) pendant une année à raison de 60 minutes par jour pendant cinq jours par semaine. Un groupe de contrôle correspondant (n = 8) a été géré en parallèle. La valeur TAS moyenne relative au corps entier était de 0,1 W/kg. À l'intérieur du corps de l'animal, la valeur TAS varie entre 0,001 et 1,1 W/kg, les valeurs les plus élevées ayant été mesurées au niveau de la tête. Douze heures après la dernière exposition, du tissu vivant a été prélevé et étudié de manière approfondie. Les courants électriques ont été mesurés sur des neurones isolés de l'hippocampe ou sur des ganglions rachidiens isolés, au moyen de méthodes électrophysiologiques (*patch clamp*). Les neurones ont été stimulés avec la capsaïcine, ce qui déclenche une arrivée de calcium dans la cellule. Le calcium a été analysé par spectrofluorimétrie à l'aide de colorants fluorescents. Par ailleurs, on a mesuré la quantité intracellulaire de radicaux oxygénés réactifs (ROS) et la dépolarisation de la membrane mitochondriale. De plus on a déterminé l'activité des caspases 3 et 9, qui sont des marqueurs d'apoptose.

Les résultats indiquent qu'une exposition à 900 ou à 1800 MHz entraîne une augmentation significative, dépendante de la fréquence, des flux dans le TRPV1, des concentrations intracellulaires de calcium, de la production de ROS, de la dépolarisation de la membrane mitochondriale ainsi que de l'activité des marqueurs d'apoptose. Les auteurs aboutissent à la conclusion que les deux fréquences initient un stress oxydatif mitochondrial, l'apoptose et l'arrivée de calcium dans les cellules par une activation des canaux TRPV1. En outre les auteurs présumant que ce canal constitue, dans les modèles de rats, une protéine cible pour un traitement pharmacologique de l'apoptose induite par des CEM de 900 et de 1800 MHz ainsi que des douleurs périphériques.

Les résultats sont intéressants, car les ganglions rachidiens interviennent dans la transmission de la douleur. Aucune expérience sur la douleur n'ayant été effectuée, la question de savoir si les conclusions des auteurs sont significatives pour l'être humain reste toutefois ouverte. Les résultats relatifs à l'hippocampe sont potentiellement importants pour le comportement et les fonctions cognitives. Dans ce domaine également, aucune investigation supplémentaire sur les capacités mnésiques n'a été menée. Les mesures ou les calculs des valeurs TAS relatives au cerveau et à la moelle épinière n'ont pas été présentés, c'est pourquoi l'importance de l'exposition dans ces tissus n'est pas évidente.

2) Études épidémiologiques

Exposition à des champs magnétiques de basse fréquence (CM-BF) durant la grossesse et effets possibles sur le taux d'accouchements prématurés et la taille des nouveau-nés (Migault et al. 2017)

Une étude de cohorte française a examiné la question de savoir si l'exposition aux CM-BF durant la grossesse exerce une influence sur la probabilité d'une naissance d'un prématuré moyen (33^e à 37^e semaine) ou sur la taille des nouveau-nés. Les données sont issues de la cohorte « Elfe ». Il s'agit d'une cohorte de naissance prospective ayant pour objectif d'examiner l'influence des conditions environnementales, de l'alimentation, de la situation familiale et des conditions socioculturelles sur l'évolution jusqu'à l'âge de 20 ans. L'étude a inclus 18 329 enfants nés durant ou après la 33^e semaine de la grossesse. L'exposition a été estimée au moyen du type de profession selon CITP-88 et de la matrice d'exposition professionnelle adaptée du projet INTEROCC. Cette matrice fournit également une estimation de l'exposition moyenne aux CM-BF dans des situations non professionnelles comme celles des hommes et des femmes au foyer, des étudiants, des chômeurs et des retraités. Sur la base de la situation de l'emploi de la mère durant la grossesse, on a estimé l'exposition cumulative en microtesla-jours. L'analyse épidémiologique a été ajustée pour un grand nombre de facteurs de confusion comme le tabagisme, l'hypertension, le poids de la mère avant la grossesse et le revenu. On n'a observé aucune relation entre l'exposition cumulative aux champs magnétiques et la probabilité d'une naissance modérément prématurée. La taille des nouveau-nés n'était pas non plus en relation avec l'exposition aux champs magnétiques des mères durant la grossesse. Il s'agit d'une étude de bonne qualité menée dans une grande cohorte de mères. D'importants facteurs de confusion ont été pris en compte lors de l'analyse épidémiologique. L'exposition tant professionnelle que non professionnelle a été appréhendée systématiquement. Toutefois de telles estimations de l'exposition sont toujours entachées d'incertitudes. Par exemple pour l'exposition à domicile, seules des valeurs moyennes ont été prises en compte et il n'a pas été vérifié de manière spécifique si les mères habitaient à proximité de sources d'exposition significatives (p. ex. lignes à haute tension ou transformateurs). La part des participants de la catégorie d'exposition la plus élevée était relativement petite (6,8 %). Cette catégorie a été définie comme ayant une exposition cumulative de $\geq 41 \mu\text{T-jours}$. Cela correspond à une exposition moyenne d'environ $0,18 \mu\text{T}$ durant les 33 premières semaines de la grossesse, qui ont été prises en compte lors du calcul de l'exposition. De ce fait, l'étude ne peut fournir aucune indication sur les mères qui ont été exposées fréquemment et/ou pendant longtemps à des champs magnétiques nettement plus élevés que $0,18 \mu\text{T}$ pendant la grossesse. Les résultats sont cohérents avec ceux d'une étude anglaise portant sur 140 000 nouveau-nés (De Vocht *et al.* 2014, De Vocht & Lee 2014 ; cf. [Newsletter n°1, mars 2015](#)). Dans celle-ci, aucun risque accru d'accouchement prématuré et de développement ralenti des nourrissons n'a été observé chez les descendants de mères habitant à proximité de lignes à haute tension.

3) Études dosimétriques

Modélisation de l'absorption de rayonnement dans la gamme de fréquences des sous-téraherz par la peau humaine (Betzalel et al. 2017)

Dans les études numériques de l'absorption des ondes électromagnétiques par l'être humain, la peau est modélisée dans la plupart des cas en tant que milieu homogène absorbant ayant une certaine teneur en eau. Jusqu'à présent des détails comme les différentes couches de la peau et les structures qu'elles contiennent n'ont généralement pas été pris en compte. Dans la plupart des cas, cela se justifie par le fait que la longueur d'onde est un multiple des dimensions des structures des tissus. Par un mélange approprié, on peut donc approximer les tissus par un milieu homogène. Pour l'analyse de l'absorption des bandes de fréquences élevées, qui seront utilisées à l'avenir dans la technologie 5G, une telle approximation est de moins en moins appropriée. La publication de Betzalel *et al.* (2017) porte sur l'influence de la structure des glandes sudoripares sur l'absorption. On a pu montrer, grâce à un procédé de tomographie optique, que les glandes sudoripares présentent une structure hélicoïdale. On admet que cette structure est nettement plus conductrice que les tissus environnants, la sueur ayant une teneur en sel, donc en ions, nettement plus élevée. Dans les bandes de fréquence des sous-téraherz (fréquence dès 30 GHz, longueur d'onde dans les tissus dans le domaine du mm), de telles structures sont pertinentes pour la modélisation de l'absorption des tissus. Dans la présente étude, on utilise un modèle détaillé de la peau. Par principe, il comporte deux couches, le derme et l'épiderme. Les couches sont ondulées en forme sinusoïdale et engrenées l'une à l'autre, et elles comportent les glandes sudoripares de forme hélicoïdale. Aucune donnée de mesure relative aux tissus correspondants n'existant pour cette gamme de fréquences, les paramètres physiques des tissus ont été estimés sur la base de la teneur en eau de chacune des couches.

Il ressort des résultats de la modélisation que la topologie et les structures fines de la peau exercent une influence significative sur l'absorption du rayonnement dans la gamme de fréquences des sous-téraherz. Dans cette étude, la différence entre les valeurs maximales locales du TAS de la peau avec et sans prise en compte des glandes sudoripares atteint un facteur 1000 à 10 000 et les glandes sudoripares s'avèrent être une microstructure avec une capacité d'absorption très fortement accrue. Les résultats de l'étude devraient être vérifiés et validés dans le cadre d'autres investigations. En outre les paramètres des tissus correspondants devraient être déterminés par des mesures. Il serait également intéressant d'étendre la modélisation à d'autres structures tissulaires que les glandes sudoripares et à des gammes de fréquences plus basses.

Bibliographie

Betzalel N, Feldman Y, Ishai PB (2017): **The Modeling of the Absorbance of Sub-THz Radiation by Human Skin**. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology 7(5): 521-528.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/8016593/>

De Vocht F, Hannam K, Baker P, Agius R (2014): **Maternal residential proximity to sources of extremely low frequency electromagnetic fields and adverse birth outcomes in a UK cohort**. Bioelectromagnetics, 35: 201–209. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24482293>

De Vocht F, Lee B (2014): **Residential proximity to electromagnetic field sources and birth weight: Minimizing residual confounding using multiple imputation and propensity score matching.** Environ Int 2014; 69: 51 – 57. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24815339>

Ertilav K, Uslusoy F, Ataizi S, Nazıroğlu M (2018): **Long term exposure to cell phone frequencies (900 and 1800 MHz) induces apoptosis, mitochondrial oxidative stress and TRPV1 channel activation in the hippocampus and dorsal root ganglion of rats.** Metab Brain Dis. 2018 Jan 13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29332300>

Migault L, Piel C, Carles C, Delva F, Lacourt A, Cardis E, Zaros C, de Seze R, Baldi I, Bouvier G (2017): **Maternal cumulative exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and pregnancy outcomes in the Elfe cohort.** Environ Int. 2017 Dec 20;112:165-173. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29275242>

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
E-mail : stefan.dongus@swisstph.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](#)