

Le présent **numéro spécial** de la Newsletter BERENIS expose l'état actuel des connaissances sur les effets biologiques des ondes millimétriques (OMM) dans la gamme de fréquences allant de 5,8 à 200 GHz et contient une évaluation actualisée concernant un lien possible entre l'exposition aux ondes millimétriques et les impacts qui en résultent sur la santé. À cette fin, les études pertinentes sur les cellules, les animaux et les êtres humains publiées entre 2019 et août 2024 ont été identifiées et évaluées en résumé. En mai 2025, un rapport détaillé présentant ces études a été publié par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)¹. La présente édition spéciale contient une version abrégée du rapport.

Champs électromagnétiques dans la gamme de fréquences allant de 5,8 à 200 GHz – effets biologiques et conséquences pour la santé

Introduction et objectif du présent rapport

Les ondes millimétriques (longueurs d'onde dans le domaine millimétrique, ci-après OMM), c'est-à-dire les champs électromagnétiques de haute fréquence (CEM-HF) avec des fréquences supérieures à 6 GHz, ne sont à l'heure actuelle (état 2025) pas encore utilisées en Suisse pour la téléphonie mobile. Vu l'utilisation croissante de la communication mobile et les modifications technologiques qui l'accompagnent, il est toutefois probable que les OMM seront à l'avenir davantage utilisées pour augmenter la largeur de bande. Pour l'heure, les connaissances sur les effets biologiques potentiels des CEM-HF dans les nouvelles bandes de fréquence sont encore limitées et leurs répercussions possibles sur la santé, très peu étudiées.

Caractéristiques des ondes millimétriques

En cas d'exposition à des fréquences supérieures à 6 GHz, l'absorption est limitée à la surface des cellules ou du corps de l'animal ou de l'être humain. La densité de puissance incidente (exprimée en W/m^2 – « *incident power density* », IPD) est une mesure appropriée de l'exposition des tissus². L'absorption d'énergie (soit l'intensité de l'exposition multipliée par la durée par volume) peut entraîner une augmentation locale ou systémique de la température, ce qui pourrait déclencher des réactions de thermorégulation dans l'organisme ou provoquer des modifications de l'équilibre énergétique. En plus des influences athermiques potentielles sur les fonctions et les mécanismes biologiques, il est donc nécessaire de prendre en compte les effets thermiques. Ces augmentations de la température peuvent être soit directement mesurées soit estimées à l'aide de modélisations informatiques.

¹ www.bafu.admin.ch (Thèmes: Electrosmog et lumière > Publications et études > Etudes), et
<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=73167>

² Pour protéger la population contre des effets thermiques excessifs, l'ICNIRP recommande depuis 2020 pour l'exposition du corps entier (conditions de champ lointain) une valeur limite (valeur de référence) de 10 W/m^2 (moyenne calculée sur 30 minutes). Pour les expositions locales (exposition de parties du corps), la valeur de référence calculée en prenant la moyenne sur 4 cm^2 et 6 minutes est comprise, selon la fréquence, entre 40 W/m^2 (pour 6 GHz) et 20 W/m^2 (pour 300 GHz), et la valeur de référence calculée en prenant la moyenne sur 1 cm^2 et 6 minutes est comprise entre 60 W/m^2 (pour 30 GHz) et 40 W/m^2 (pour 300 GHz).

L'**objectif** de cette édition spéciale de la Newsletter est de présenter l'état actuel des connaissances et de fournir une évaluation actualisée concernant les effets potentiels des OMM dans la gamme de fréquences de 5,8 à 200 GHz sur la santé. Les effets pertinents pour la santé, observés à travers de nombreux paramètres expérimentaux, concernent principalement le cancer et les maladies neurologiques et dermatologiques. Ils englobent également d'autres processus biologiques tels que la reproduction et la fertilité, les aspects développementaux, cognitifs et physiologiques, ainsi que des mécanismes impliqués dans différents processus physiologiques et pathologiques comme le stress oxydatif et la mort cellulaire programmée.

Méthode

Sélection systématique des études

Le présent résumé se fonde sur une revue systématique (voir rapport en allemand³) effectuée selon des principes standardisés incluant la sélection des études à l'aide des critères PECO (population, exposition, comparateur et résultats), la consultation systématique de deux banques de données au moins et la documentation du processus conformément aux recommandations PRISMA [1, 2]. Cette revue systématique a été réalisée d'une manière conforme aux recommandations scientifiques [3, 4]. Une attention particulière a été accordée aux études utilisant des cultures cellulaires (*in vitro*) et aux études utilisant des animaux ou des participants humains (*in vivo*) qui portaient sur les effets ou les mécanismes biologiques et qui ont fait l'objet d'une évaluation systématique par des experts neutres et externes. La synthèse des résultats des études pertinents pour la santé a été discutée dans les catégories suivantes, qui regroupent des tableaux cliniques et des effets biologiques :

1. Carcinogenèse, maladies neurodégénératives et autres maladies neurologiques
2. Maladies/effets sur les organes les plus exposés comme la peau et les yeux, y compris les effets thermiques
3. Maladies cardiovasculaires et immunologiques
4. Fertilité, reproduction et processus de développement
5. Vitalité, reproduction, prolifération et sénescence cellulaires
6. Réaction de stress et homéostasie (cellulaire)
7. Intégrité génétique et épigénétique (analyse transcriptomique/protéomique)
8. Études sur des êtres humains incluant aussi la perception en plus des critères sanitaires

Évaluation des études

Chaque étude a été soumise à une analyse des risques afin d'apprécier sa qualité. Cette analyse évalue différents domaines de l'étude sur les plans de la sensibilité et du risque d'erreur systémique (risque de biais) et fournit une mesure de la confiance dans ses résultats. L'évaluation finale a été réalisée à l'aide de l'approche dite GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*⁴), selon des directives standardisées fixées par l'outil OHAT (Office of Health Assessment and Translation) [3, 4], avec de légères adaptations pour les études animales et cellulaires.

³ www.bafu.admin.ch (Thèmes: Electrosmog et lumière > Publications et études > Etudes), et
<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=73167>

⁴ <https://www.gradeworkinggroup.org>

Résumé et évaluation des OMM

Au total, 56 études publiées entre le début de l'année 2019 et août 2024 (29 études animales/humaines et 28 études cellulaires) ont été sélectionnées et évaluées. La plupart des études ont été effectuées avec des OMM dans la gamme de fréquences allant de 5,8 à 29 GHz ($n=16$ *in vivo*, $n=10$ *in vitro*) ; les autres études ont été réalisées avec des OMM de 50 à 100 GHz ($n=5$ *in vivo*, $n=13$ *in vitro*), de 101 à 200 GHz ($n=3$ *in vivo*, $n=6$ *in vitro*) et de 30 à 49 GHz ($n=3$ *in vivo*, $n=3$ *in vitro*). L'analyse des risques a mis en évidence des limites significatives en ce qui concerne l'exposition et la dosimétrie dans 20 études animales. Presque toutes ces études ($n=14$) présentent aussi des faiblesses en ce qui concerne l'évaluation de la température, ce qui peut jouer un rôle pour certaines catégories évaluées, par exemple la catégorie n° 4 incluant la fertilité, la reproduction et les processus de développement. Similairement, des limites ont également été mises en évidence dans différents domaines pour les études cellulaires.

Une seule étude animale portant sur la cancérogenèse induite par une exposition à des OMM dans la gamme de fréquences de 5,8 à 29 GHz a été publiée au cours de la période sous revue, mais elle présente diverses insuffisances sur le plan de la qualité [5]. Les données disponibles ne permettent donc pas de livrer une conclusion sur les risques possibles de cancer dus aux OMM. Aucune des études minutieusement contrôlées portant sur la génotoxicité, menées dans le domaine des valeurs limites réglementaires, ne fournit d'indications sur des effets cancérogènes induits par des OMM, quelle que soit la gamme de fréquences [6-8]. Ces résultats concordent pour l'essentiel avec des études récentes dans lesquelles différents modèles cellulaires ont été exposés aux CEM-HF utilisés pour la téléphonie mobile avant la 5G [9-11]. Les influences sur la vitalité et la prolifération des cellules peuvent en outre jouer un rôle dans la cancérogenèse, mais les connaissances actuelles ne permettent pas de tirer des conclusions claires sur les effets de l'exposition aux OMM, car le niveau de confiance dans les données probantes est généralement faible et différentes approches expérimentales ont été utilisées.

Les études sur les effets possibles des OMM sur la santé fournissent des résultats contradictoires en ce qui concerne les biomarqueurs fonctionnels ou descriptifs qui permettent de déduire des symptômes et/ou des maladies cardiovasculaires ou des effets sur le système immunitaire [12-16]. Seules deux études *in vivo* portant sur les effets sanitaires possibles des CEM-HF dans la gamme de fréquences de 5,8 à 29 GHz et sur les maladies cardiovasculaires ont été trouvées [12, 17]. Leurs résultats concernant l'ECG et les modifications structurelles dans le tissu cardiaque sont cependant contradictoires. Des études sur les cultures cellulaires ont indiqué une augmentation transitoire des syndromes inflammatoires ainsi qu'une activation du système immunitaire après une exposition dans la gamme de fréquences allant de 5,8 à 29 GHz [15, 16].

Au total, huit études ont investigué les répercussions des OMM sur la fertilité, la reproduction et les processus de développement [18-25]. Compte tenu de la qualité de l'étude, certains éléments indiquent des effets néfastes sur la reproduction et les processus de développement dus aux CEM-HF dans la gamme de fréquences de 5,8 à 29 GHz, comme l'a montré l'étude sur plusieurs générations menée sur les *Caenorhabditis elegans* avec une exposition à un stade de développement précoce ainsi qu'une exposition chronique (TAS 4 W/kg) [25]. Aucune indication de stress oxydatif induit par une brève et forte exposition à un CEM-HF de 9,4 GHz n'a été trouvée [20].

Les effets néfastes sur la reproduction et les processus de développement susmentionnés pourraient être dus à une augmentation du stress cellulaire et/ou oxydatif, qui pourrait aussi expliquer les déficits des capacités mnésiques décrites dans des études avec des fréquences supérieures à 10 GHz [26, 27], mais aussi dans des études avec des fréquences inférieures à 5,8 GHz (voir la revue de Schuermann et Mevissen [28]). Les effets liés au stress oxydatif ont été traités dans ['l'édition spéciale de la Newsletter BERENIS de janvier 2021'](#). Dans deux études plus anciennes, qui présentent des limites, il existe des

indications selon lesquelles les OMM induisent des modifications de l'activité d'enzymes qui régulent l'équilibre oxydatif dans différents tissus [29, 30].

Deux études menées dans la gamme de fréquences allant de 5,8 à 29 GHz ont relevé des déficits des capacités mnésiques ainsi que des modifications structurelles dans différentes structures cérébrales [31, 32]. Certains éléments révélés par des études sur des rongeurs et sur des neurones primaires indiquent une inhibition de la douleur après une exposition à des fréquences plus élevées (> 60 GHz) [33-36]. Les résultats concernant la transmission des signaux neuronaux, c'est-à-dire le transfert au niveau de la synapse, ne sont pas clairs [34, 35]. Des analyses globales des protéines et de l'activité des gènes ont parfois été utilisées pour mieux comprendre comment les OMM affectent le corps, en identifiant les mécanismes et les biomarqueurs, ainsi que les effets sur le système nerveux (déficits neurologiques) et le système immunitaire et les effets thérapeutiques. Cette approche a permis de montrer de manière convaincante que les modifications de l'expression génétique induites par l'exposition à des OMM de 60 GHz (200 W/m^2) sont principalement provoquées par des réactions thermiques [37], ce qui souligne l'importance de la dosimétrie et du contrôle de la température dans ce type de modèles d'exposition *in vitro*.

Les études sur les effets thermiques, en particulier sur les tissus oculaires et cutanés, qui sont considérés comme les principaux tissus cibles pour l'influence des OMM, s'appuient sur une grande variété de systèmes modèles incluant des lapins, des rats et des souris, des cochons, des participants humains ainsi que différents types de cellules [15, 27, 38-44], et les résultats présentés ici concordent avec ceux de revues antérieures [45-47]. La plupart des études portant sur les OMM se sont concentrées sur leurs applications thérapeutiques, en particulier pour traiter la douleur [13, 42, 48] et moins sur les seuils thermiques de l'exposition aux OMM. Une élévation de température de 0,9 à 1 °C au niveau du bout du doigt des participants a été indiquée comme seuil de douleur provoquée par des OMM à 28 GHz dans une plage d'intensités de 1260 à 3990 W/m^2 [42]. Une étude menée sur des lapins a révélé que la probabilité d'une atteinte à l'œil s'accroît lorsque les densités de puissance incidente sont élevées (1730, 2520, 3680 W/m^2) [40]. S'agissant des OMM dans les bandes de fréquence qui seront probablement utilisées à l'avenir par les technologies de télécommunication, la dosimétrie et les données disponibles sont lacunaires et peu détaillées en ce qui concerne les augmentations de la température et les effets thermiques. Par ailleurs, la diversité des approches expérimentales utilisées ne permet pas de tirer des conclusions fiables sur les effets thermiques des OMM sur les tissus oculaires et cutanés humains.

Le stress cellulaire induit par les effets thermiques peut provoquer le repliement des protéines et une expression accrue des protéines de choc thermique et se manifeste par un dépôt d'énergie et un échauffement des tissus. Cela a été investigué, et occasionnellement aussi prouvé, dans différentes études pour des OMM de diverses fréquences et avec différents IPD, durées d'exposition et types de cellules [6, 7, 37, 49-56]. Aucune modification des protéines de choc thermique n'a cependant été observée lorsque les cellules oculaires ont été exposées durant 24 h à des CEM-HF (IPD 10 W/m^2) à des fréquences de 5,8 GHz [7], 40 GHz [6] ou 60 GHz [56]. Des études récentes sur l'hyperthermie, en particulier sur les réactions de choc thermique induites par des impulsions intensives à 58,4 GHz provoquant une perméabilité de la membrane cellulaire, se concentrent sur les thérapies contre les tumeurs [57-59]. Des modifications ont aussi été observées après une exposition à une fréquence de 60 GHz (IPD 200 W/m^2) et ont été expliquées par une perméabilité accrue de la membrane cellulaire [60]. Il manque toutefois des études minutieusement exécutées sur les mammifères. Les éléments de preuves expérimentaux disponibles présentent de manière générale un degré de confiance limité et la compréhension des mécanismes sous-jacents reste lacunaire.

Conclusions

Les études sur les effets thermiques des OMM montrent une augmentation de la température chez les animaux de laboratoire en fonction de la fréquence ainsi que de l'intensité. Les résultats ne révèlent rien sur les valeurs seuils possibles, mais il existe des indications selon lesquelles une augmentation locale de température de 1 °C peut être détectée par les participants (dans la plage de 1260 à 3990 W/m²). Les données issues d'études appliquées montrent qu'une exposition aux CEM-HF pulsés constitue un instrument thérapeutique intéressant pour traiter le cancer, en particulier pour les tumeurs cutanées superficielles.

Quelques études *in vivo* indiquent une altération du comportement d'apprentissage ainsi que des modifications structurelles dans le cerveau, en partie accompagnées de stress oxydatif, comme cela avait déjà été observé à des fréquences plus basses (< 5,8 GHz). Une modification de l'activité des neurones a été relevée à des fréquences plus élevées (> 60 GHz) de la gamme des OMM, mais elle allait, selon l'étude, dans les deux directions. Des études cellulaires rapportent une perméabilité plus élevée des membranes cellulaires après une exposition à des fréquences supérieures à 60 GHz. La cause de cet effet reste encore spéculative, mais pourrait être due au stress oxydatif ou à des influences sur les canaux de la membrane, en particulier en cas d'OMM pulsées. Les analyses de l'activité génétique étaient en partie les modifications observées des fonctions neuronales et métaboliques des cellules. Il n'a cependant pas encore été possible d'identifier précisément des voies de signalisation influencées par l'exposition ou même un biomarqueur, ce qui complique la formulation de conclusions concernant la santé humaine.

Les données récentes provenant d'études *in vitro* sur la génotoxicité indiquent qu'il est improbable que les OMM aient des effets sur la cancérogenèse. À noter cependant qu'une seule étude animale investiguant des tumeurs sous-cutanées a été publiée sur ce point, et que celle-ci présente des insuffisances considérables sur le plan de la qualité. Une étude sur plusieurs générations menée sur des nématodes a fourni de premières indications d'une altération de la reproduction après une exposition chronique à des OMM de 9,4 GHz, probablement due au stress oxydatif. Il manque cependant des études sur les mammifères.

Dans l'ensemble, de très nombreuses études publiées présentent des lacunes importantes, en particulier dans la caractérisation de l'exposition et la dosimétrie, ce qui empêche de tirer des conclusions causales. Ces lacunes fréquentes ne permettent pas de déduire une corrélation de type dose-effet fiable. Il n'est pas possible de livrer une conclusion sur la dépendance de la dose, car il manque des études sur ce point et les paramètres évalués sont rarement comparables.

Prise de position du groupe d'experts BERENIS sur l'état des connaissances, les directives ICNIRP et la précaution

- Après avoir passé en revue et intégré les études publiées ces cinq dernières années, il demeure difficile de tirer des conclusions sur les éventuels effets possibles sur la santé d'une exposition aux CEM-HF dans la gamme des OMM. L'état actuel des connaissances reste ambivalent et la confiance dans les preuves disponibles est limitée. Beaucoup d'études sont entachées d'incertitudes et il n'est souvent pas possible, au vu des résultats, d'exclure un rôle des effets thermiques, en particulier lorsque les expositions ont été réalisées dans un domaine supérieur aux valeurs limites réglementaires.
- Même si des effets sanitaires n'ont pas pu être prouvés pour des valeurs inférieures aux valeurs limites de référence de l'ICNIRP [61], diverses incertitudes demeurent sur ce point. Il existe quelques indices que des OMM de fréquences supérieures à 5,8 GHz peuvent affecter la cognition

(l'apprentissage), possiblement à travers des processus biologiques comme le stress oxydatif et cellulaire. Comme il n'existe cependant pas d'études épidémiologiques ($> 5,8 \text{ GHz}$) sur ce point, l'importance de cet effet pour la santé humaine ne peut pas être évaluée de manière définitive. Ainsi qu'il l'a indiqué dans l'[édition spéciale de la Newsletter de juillet 2020](#), le groupe d'experts BERENIS estime que les directives plus précises pour les expositions de courte durée et l'exposition de petites surfaces à des fréquences supérieures à 6 GHz devraient être prises en compte dans la législation suisse avant que de telles fréquences ne soient utilisées à l'avenir pour la téléphonie mobile.

- En raison de ces incertitudes, le groupe d'experts BERENIS recommande de continuer à appliquer systématiquement le principe de précaution. En Suisse, le principe de précaution pour les immissions des émetteurs fixes (p. ex. stations de base de téléphonie mobile et émetteurs de radiodiffusion) est concrétisé par la valeur limite de l'installation fixée dans l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement ionisant (ORNI).
- En ce qui concerne l'utilisation prévue de la gamme de fréquences au-dessus de 5,8 GHz dans les nouvelles technologies de la communication, nous notons qu'il existe actuellement peu d'études scientifiques qui ne présentent pas des limites sur le plan de la qualité. Il manque en particulier des études probantes sur des mammifères. Il est donc difficile de se prononcer sur de possibles effets sanitaires, en particulier sur les tissus cutanés et oculaires, qui sont les plus exposés. Il n'est pas non plus possible de livrer une conclusion sur les répercussions écologiques des OMM, car il manque actuellement des études sur les petits animaux tels que les abeilles et d'autres insectes. Il convient donc d'initier et d'encourager une recherche de qualité pour réduire ces lacunes dans les connaissances afin de pouvoir mieux évaluer à l'avenir les répercussions éventuelles sur la santé et l'environnement.

Bibliographie

1. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hrobjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P and Moher D (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372.
2. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hrobjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P and McKenzie JE (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372.
3. NTP, National Toxicology Program. *Handbook for Conducting a Literature-based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence Integration*. Office of Health Assessment and Translation. National Institute of Environmental Health Sciences., 2019.
4. NTP, National Toxicology Program. *OHAT Risk of Bias Rating Tool for Human and Animal Studies*. Office of Health Assessment and Translation. National Institute of Environmental Health Science. U.S. Department of Health and Human Service., 2019.
5. de Seze R, Pouliquet C, Gamez C, Maillot-Marechal E, Robidel F, Lecomte A and Fonta C (2020). Repeated exposure to nanosecond high power pulsed microwaves increases cancer incidence in rat. *PLoS One*, 15(4).

6. Koyama S, Narita E, Suzuki Y, Shiina T, Taki M, Shinohara N and Miyakoshi J (2019). Long-term exposure to a 40-GHz electromagnetic field does not affect genotoxicity or heat shock protein expression in HCE-T or SRA01/04 cells. *Journal of Radiation Research*, 60(4).
7. Miyakoshi J, Tonomura H, Koyama S, Narita E and Shinohara N (2019). Effects of Exposure to 5.8 GHz Electromagnetic Field on Micronucleus Formation, DNA Strand Breaks, and Heat Shock Protein Expressions in Cells Derived From Human Eye. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 18(2).
8. Lawler NB, Evans CW, Romanenko S, Chaudhari N, Fear M, Wood F, Smith NM, Wallace VP and Swaminathan Iyer K (2022). Millimeter waves alter DNA secondary structures and modulate the transcriptome in human fibroblasts. *Biomedical Optics Express*, 13(5).
9. Gläser K, Rohland M, Kleine-Ostmann T, Schrader T, Stopper H and Hintzsche H (2016). Effect of Radiofrequency Radiation on Human Hematopoietic Stem Cells. *Radiation Research*, 186(5).
10. Schuermann D, Ziemann C, Barekati Z, Capstick M, Oertel A, Focke F, Murbach M, Kuster N, Dasenbrock C and Schär P (2020). Assessment of Genotoxicity in Human Cells Exposed to Modulated Electromagnetic Fields of Wireless Communication Devices. *Genes*, 11(4).
11. Su LL, Wei XX, Xu ZP and Chen GD (2017). RF-EMF Exposure at 1800 MHz Did Not Elicit DNA Damage or Abnormal Cellular Behaviors in Different Neurogenic Cells. *Bioelectromagnetics*, 38(3).
12. Yao C, Wang H, Sun L, Ren K, Dong J, Wang H, Zhang J, Xu X, Yao B, Zhou H, Zhao L and Peng R (2022). The Biological Effects of Compound Microwave Exposure with 2.8 GHz and 9.3 GHz on Immune System: Transcriptomic and Proteomic Analysis. *Cells*, 11(23).
13. Minier L, Debouzy JC, Foerster M, Pierre V, Maindet C and Crouzier D (2023). Hypoalgesia and parasympathetic effects of millimeter waves on experimentally induced pain in healthy volunteers. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 42(1).
14. Zhang Q, Shang S, Li X and Lu X (2024). Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Effects of 0.1 Sub-Terahertz Irradiation in Collagen-Induced Arthritis Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11).
15. Havas F, Cohen M, Krispin S and Attia-Vigneau J (2024). Protective Properties of Botanical Extracts against 5G Radiation-induced Damage to Human Skin, as Demonstrated in Preliminary Data from a Keratinocyte Cell Culture Model. *Frontiers in Bioscience (Landmark Ed)*, 29(1).
16. Yin Y, Xu X, Li D, Yao B, Wang H, Zhao L, Wang H, Dong J, Zhang J and Peng R (2023). Role of Cx43 in iPSC-CM Damage Induced by Microwave Radiation. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(16).
17. Yin Y, Xu X, Gao Y, Wang J, Yao B, Zhao L, Wang H, Wang H, Dong J, Zhang J and Peng R (2021). Abnormal Expression of Connexin43 in Cardiac Injury Induced by S-Band and X-Band Microwave Exposure in Rats. *Journal of Immunology Research*, 2021.
18. Belyavskaya A, Loginov P, Mavlutova E and Nikolaev A (2020). Changes in Male Reproductive System Under Adverse Environmental Conditions. *Archiv EuroMedica*, 10(2).
19. Nik Abdull Halim NMH, Mohd Jamili AF, Che Dom N, Abd Rahman NH, Jamal Kareem Z and Dapari R (2024). The impact of radiofrequency exposure on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) development. *PLoS One*, 19(2).
20. Sun A, Li Z, Zhao X, Zhou H, Gao Y, Liu Q, Zhou S, Zhang C, Dong G and Wang C (2022). Pulsed High-Peak Power Microwaves at 9.4 GHz Do Not Affect Basic Endpoints in *Caenorhabditis elegans*. *Bioelectromagnetics*, 43(1).

21. Xue Y, Guo L, Lin J, Lai P, Rui G, Liu L, Huang R, Jing Y, Wang F and Ding G (2022). Effects of 5.8 GHz Microwaves on Testicular Structure and Function in Rats. *Biomed Research International*, 2022.
22. Ploskonos MV, Zulbalaeva DF, Kurbangalieva NR, Ripp SV, Neborak EV, Blagonravov ML, Syatkin SP, Sungrapova K and Hilal A (2022). Assessing the biological effects of microwave irradiation on human semen in vitro and determining the role of seminal plasma polyamines in this process. *Biomedical Reports*, 16(5).
23. Pecoraro R, Pavone SC, Scalisi EM, Ignoto S, Sica C, Indelicato S, Capparucci F, Iaria C, Salvaggio A, Sorbello G, Di Donato L and Bruno MV (2023). Multimarker Approach to Evaluate the Exposure to Electromagnetic Fields at 27 GHz on *Danio rerio* Larvae. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(4).
24. Pecoraro R, Pavone SC, Scalisi EM, Sica C, Ignoto S, Contino M, Salvaggio A, Marmara D, Sorbello G, Di Donato L and Bruno MV (2022). Biological Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields at 27 GHz on Sperm Quality of *Mytilus galloprovincialis*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4).
25. Sun A, Zhao X, Li Z, Gao Y, Liu Q, Zhou H, Dong G and Wang C (2022). Effects of Long-Term and Multigeneration Exposure of *Caenorhabditis elegans* to 9.4 GHz Microwaves. *Bioelectromagnetics*, 43(5).
26. Kesari KK and Behari J (2010). Microwave Exposure Affecting Reproductive System in Male Rats. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162(2).
27. Verma S, Keshri GK, Karmakar S, Mani KV, Chauhan S, Yadav A, Sharma M and Gupta A (2021). Effects of Microwave 10 GHz Radiation Exposure in the Skin of Rats: An Insight on Molecular Responses. *Radiation Research*, 196(4).
28. Schuermann D and Mevissen M (2021). Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress-Biological Effects and Consequences for Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7).
29. Kesari KK and Behari J (2009). Fifty-gigahertz microwave exposure effect of radiations on rat brain. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 158(1).
30. Kumar S, Kesari KK and Behari J (2010). Evaluation of genotoxic effects in male Wistar rats following microwave exposure. *Indian Journal of Experimental Biology*, 48(6).
31. Liu JJ, Zhang HY, Chen X, Zhang GB, Lin JK, Feng H and Chu WH (2022). 20-Hydroxyecdysone Improves Neuronal Differentiation of Adult Hippocampal Neural Stem Cells in High Power Microwave Radiation-Exposed Rats. *Biomedical and Environmental Sciences*, 35(6).
32. Wang H, Liu Y, Sun Y, Dong J, Xu X, Wang H, Zhao X, Zhang J, Yao B, Zhao L, Liu S and Peng R (2023). Changes in cognitive function, synaptic structure and protein expression after long-term exposure to 2.856 and 9.375 GHz microwaves. *Cell Communication and Signaling*, 21(1).
33. Ma S, Li Z, Gong S, Lu C, Li X and Li Y (2023). High Frequency Electromagnetic Radiation Stimulates Neuronal Growth and Hippocampal Synaptic Transmission. *Brain Sciences*, 13(4).
34. Zhao L, Yi R, Liu S, Chi Y, Tan S, Dong J, Wang H, Zhang J, Wang H, Xu X, Yao B, Wang B and Peng R (2023). Biological responses to terahertz radiation with different power density in primary hippocampal neurons. *PLoS One*, 18(1).
35. Sun L, Chen M, Wang H, Dong J, Zhao L and Peng R (2022). CaMKII δ Promotes Synaptic Plasticity under Terahertz Wave Radiation by Activation of the NF- κ B Pathway. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 13(25).
36. Tan SZ, Tan PC, Luo LQ, Chi YL, Yang ZL, Zhao XL, Zhao L, Dong J, Zhang J, Yao BW, Xu XP, Tian G, Chen JK, Wang H and Peng RY (2019). Exposure Effects of Terahertz Waves on Primary Neurons and Neuron-like Cells Under Nonthermal Conditions. *Biomedical and Environmental Sciences*, 32(10).

37. Martin C, Evrard B, Percevault F, Ryder K, Darde T, Lardenois A, Zhadobov M, Sauleau R, Chalmel F, Le Dréan Y and Habauzit D (2024). Transcriptional landscape of human keratinocyte models exposed to 60-GHz millimeter-waves. *Toxicology In Vitro*, 97.
38. Emre M, Karamazi Y, Emre T, Avci Ç, Aydin C, Ebrahimi S and Pekmezekmek AB (2024). The effect of 6GHz radiofrequency electromagnetic radiation on rat pain perception. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 43(1-2).
39. Ijima E, Kodera S, Hirata A, Hikage T, Matsumoto A, Ishitake T and Masuda H (2023). Excessive whole-body exposure to 28 GHz quasi-millimeter wave induces thermoregulation accompanied by a change in skin blood flow proportion in rats. *Frontiers in Public Health*, 11.
40. Kojima M, Suzuki Y, Tasaki T, Tatematsu Y, Mizuno M, Fukunari M and Sasaki H (2020). Clinical Course of High-Frequency Millimeter-Wave (162 GHz) Induced Ocular Injuries and Investigation of Damage Thresholds. *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, 41(7).
41. Kojima M, Tsai CY, Suzuki Y, Sasaki K, Tasaki T, Taki M, Watanabe S and Sasaki H (2019). Ocular Response to Millimeter Wave Exposure Under Different Levels of Humidity. *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, 40(5).
42. Yuasa A, Uehara S, Ushizawa K, Kodera S, Arai N, Hirata A and Otaka Y (2024). The thermal sensation threshold and its reliability induced by the exposure to 28 GHz millimeter-wave. *Frontiers in Neuroscience*, 18.
43. Furman O, Komoshvili K, Levitan J, Yahalom A, Marks H, Borodin D and Liberman-Aronov S (2020). The Lack of Toxic Effect of High-Power Short-Pulse 101 GHz Millimeter Waves on Healthy Mice. *Bioelectromagnetics*, 41(3).
44. Foroughimehr N, Clayton AHA and Yavari A (2024). Exploring Skin Interactions with 5G Millimeter-Wave through Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy. *Electronics*, 13(9).
45. Wood A, Mate R and Karipidis K (2021). Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 31(4).
46. Simkó M and Mattsson MO (2019). 5G Wireless Communication and Health Effects-A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(18).
47. Karipidis K, Mate R, Urban D, Tinker R and Wood A (2021). 5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 31(4).
48. Walters TJ, Blick DW, Johnson LR, Adair ER and Foster KR (2000). Heating and pain sensation produced in human skin by millimeter waves: Comparison to a simple thermal model. *Health Physics*, 78(3).
49. Zhadobov M, Nicolaz CN, Sauleau R, Desmots F, Thouroude D, Michel D and Le Dréan Y (2009). Evaluation of the Potential Biological Effects of the 60-GHz Millimeter Waves Upon Human Cells. *Ieee Transactions on Antennas and Propagation*, 57(10).
50. Nicolaz CN, Zhadobov M, Desmots F, Ansart A, Sauleau R, Thouroude D, Michel D and Le Drean Y (2009). Study of narrow band millimeter-wave potential interactions with endoplasmic reticulum stress sensor genes. *Bioelectromagnetics*, 30(5).
51. Le Quement C, Nicolas Nicolaz C, Zhadobov M, Desmots F, Sauleau R, Aubry M, Michel D and Le Drean Y (2012). Whole-genome expression analysis in primary human keratinocyte cell cultures exposed to 60 GHz radiation. *Bioelectromagnetics*, 33(2).
52. Le Quement C, Nicolaz CN, Habauzit D, Zhadobov M, Sauleau R and Le Drean Y (2014). Impact of 60-GHz millimeter waves and corresponding heat effect on endoplasmic reticulum stress sensor gene expression. *Bioelectromagnetics*, 35(6).

53. Haas AJ, Le Page Y, Zhadobov M, Boriskin A, Sauleau R and Le Drean Y (2016). Impact of 60-GHz millimeter waves on stress and pain-related protein expression in differentiating neuron-like cells. *Bioelectromagnetics*, 37(7).
54. Zhadobov M, Sauleau R, Le Coq L, Debure L, Thouroude D, Michel D and Le Dréan Y (2007). Low-power millimeter wave radiations do not alter stress-sensitive gene expression of chaperone proteins. *Bioelectromagnetics*, 28(3).
55. Millenbaugh NJ, Roth C, Sypniewska R, Chan V, Eggers JS, Kiel JL, Blystone RV and Mason PA (2008). Gene expression changes in the skin of rats induced by prolonged 35 GHz millimeter-wave exposure. *Radiation Research*, 169(3).
56. Koyama S, Narita E, Shimizu Y, Suzuki Y, Shiina T, Taki M, Shinohara N and Miyakoshi J (2016). Effects of Long-Term Exposure to 60 GHz Millimeter-Wavelength Radiation on the Genotoxicity and Heat Shock Protein (Hsp) Expression of Cells Derived from Human Eye. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8).
57. Orlacchio R, Le Page Y, Le Dréan Y, Le Guével R, Sauleau R, Alekseev S and Zhadobov M (2019). Millimeter-wave pulsed heating in vitro: cell mortality and heat shock response. *Scientific Reports*, 9(1).
58. Orlacchio R, Nikolayev D, Le Page Y, Le Drean Y and Zhadobov M (2022). Millimeter-Wave Heating In Vitro: Local Microscale Temperature Measurements Correlated to Heat Shock Cellular Response. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 69(2).
59. Orlacchio R, Page YL, Dréan YL and Zhadobov M (2023). Millimeter-Wave Pulsed Heating in Vitro: Effect of Pulse Duration. *IEEE Journal of Electromagnetics RF and Microwaves in Medicine and Biology*, 7(2).
60. Le Pogam P, Le Page Y, Habauzit D, Doué M, Zhadobov M, Sauleau R, Le Dréan Y and Rondeau D (2019). Untargeted metabolomics unveil alterations of biomembranes permeability in human HaCaT keratinocytes upon 60 GHz millimeter-wave exposure. *Scientific Reports*, 9(1).
61. ICNIRP (2020). ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118.

Contact

Stefan Dongus
Secrétariat BERENIS
Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH)
Département Épidémiologie et santé publique
Unité Expositions environnementales et santé
Kreuzstrasse 2, 4123 Allschwil
Tél : +41 61 284 81 11
Courriel : stefan.dongus@swisstph.ch

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

[Le groupe consultatif de spécialistes en matière de RNI \(BERENIS\)](#)

[Base de données de toutes les newsletters BERENIS avec fonction de recherche](#)

[Lien vers la liste des abréviations \(PDF\)](#)