



Incidences environnementales de la 5G

Analyse bibliographique des
effets de l'exposition de
vertébrés non humains,
invertébrés et plantes aux
champs électromagnétiques
de radiofréquences

ETUDE

Comité de l'avenir de la science et de la technologie

EPRS | Service de recherche du Parlement européen

Unité de la prospective scientifique (STOA)

PE 690.021 – Juin 2021

FR

Incidences environnementales de la 5G

Analyse bibliographique des effets de l'exposition de vertébrés non humains, invertébrés et plantes aux champs électromagnétiques de radiofréquences

Les réseaux de télécommunication emploient des champs électromagnétiques de radiofréquences à des fins de communication sans fil. Ils ont évolué au fil du temps et plusieurs générations se sont succédé. La cinquième génération de réseaux de télécommunication opérera à des fréquences qui n'étaient précédemment pas utilisées par les générations antérieures, ce qui change donc l'exposition de la faune et de la flore à ces ondes. Le présent document passe en revue les connaissances scientifiques relatives à l'exposition de vertébrés, invertébrés et plantes aux champs électromagnétiques de radiofréquences en prévision de ce changement.

Il montre que le chauffage diélectrique peut se produire à toutes les fréquences examinées (0,4-300 GHz) et chez tous les organismes étudiés. La présente analyse, qui synthétise et examine les résultats d'une série d'études de l'exposition de la faune et de la flore aux champs électromagnétiques de radiofréquences, montre que plusieurs de ces études sur les effets des champs électromagnétiques de radiofréquences aux bandes de fréquences examinées sur des invertébrés et des plantes font état de lacunes expérimentales. En outre, les recherches sur l'exposition des invertébrés et des plantes aux champs électromagnétiques de radiofréquences supérieures à 6 GHz sont très peu nombreuses. Davantage d'études sont nécessaires dans ce domaine.

AUTEUR

La présente étude a été rédigée par Arno Thielens de l'université de Gand (Belgique), à la demande du Comité de l'avenir de la science et de la technologie (STOA) et dirigée par l'unité de la prospective scientifique de la direction générale des services de recherche parlementaire (EPRS) du secrétariat général du Parlement européen.

ADMINISTRATEUR RESPONSABLE

Gianluca Quaglio, unité de la prospective scientifique (STOA)

Pour contacter l'éditeur, veuillez envoyer un courriel à stoa@ep.europa.eu

VERSION LINGUISTIQUE

Original: EN

Manuscrit achevé en juin 2021.

RÉVISEURS

Le présent document a été révisé par M. Martin Vacha du département de biologie expérimentale de la section de physiologie et immunologie animale de la faculté des sciences de l'université Masaryk (République tchèque) et M. Alain Vian, IRHS, université d'Angers (Beaucouzé, France).

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ ET DROITS D'AUTEUR

Le présent document est rédigé à l'intention des députés et du personnel du Parlement européen dans le but de les aider dans leur travail parlementaire. Le contenu de ce document relève de la responsabilité exclusive de l'auteur et les avis qui y sont exprimés ne reflètent pas nécessairement la position officielle du Parlement européen.

Reproduction et traduction autorisées, sauf à des fins commerciales, moyennant mention de la source, information préalable du Parlement européen et transmission d'un exemplaire à celui-ci.

Bruxelles © Union européenne, 2023.

PE 690.021
ISBN: 978-92-848-0796-3
doi: 10.2861/45179
QA-05-21-112-FR-N

<http://www.europarl.europa.eu/stoa> (site internet du STOA)

<http://www.eprs.ep.parl.union.eu> (intranet)

<https://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/home.html> (internet)

<http://epthinktank.eu> (blog)

Synthèse

1. Justification

La télécommunication sans fil est une technologie très répandue qui s'appuie sur des champs électromagnétiques (CEM) de radiofréquences (RF) pour envoyer des informations d'un utilisateur à un autre. La faune et la flore peuvent être exposées à ces ondes, qui pénètrent en partie les tissus biologiques. Ces champs internes peuvent avoir des effets biologiques. L'exposition aux CEM RF et l'interaction entre les champs électromagnétiques et les organismes dépendent de la fréquence des ondes. Les réseaux de télécommunication de cinquième génération (5G) opéreront en partie sur de nouvelles fréquences qu'on trouve rarement dans l'environnement. Ces changements prévus nécessitent de passer en revue les études existantes sur les effets de l'exposition de la faune et de la flore aux CEM RF. C'est précisément le rôle de la présente analyse bibliographique.

2. Méthodologie

Une recherche dans une base de données de l'état actuel de la recherche dans ce domaine a montré que les études pertinentes étaient classées selon deux critères. Le premier est le groupe cible étudié: vertébrés non humains, invertébrés et plantes; le second est la fréquence des CEM RF observés, pour laquelle on distingue une gamme basse (0,45-6 GHz) et une gamme haute (6-300 GHz). La première gamme comprend les fréquences d'exploitation des réseaux de télécommunication actuels, tandis que la seconde est celle que les réseaux 5G exploiteront en partie. Les études réalisées sont donc classées en six catégories qui seront examinées de manière distincte.

3. Résultats

On observe du chauffage diélectrique dû à l'exposition des tissus biologiques aux CEM RF dans toutes les catégories. Ce chauffage provoque une hausse de la température interne des organismes ou des cellules, ce qui a des effets biologiques, comme une réaction de régulation thermique. Il existe donc toujours un niveau de densité de puissance des CEM RF qui provoque des effets biologiques, appelés effets thermiques. Les effets de découplage dus à des températures élevées et à l'exposition de tissus biologiques à des CEM RF sont des problèmes graves dans ce champ de recherche.

De nombreuses études cherchent par conséquent à démontrer l'existence ou l'absence d'effets non thermiques. Il s'agit d'effets provoqués par l'exposition aux CEM RF mais qui ne sont pas liés à des variations de température. Une grande variété d'autres effets de l'exposition aux CEM RF font l'objet de recherches. En dehors du chauffage diélectrique, cependant, aucun effet n'est étudié dans l'ensemble des six catégories susmentionnées.

Gamme de fréquences basses (0,45-6 GHz)

Vertébrés

Concernant la gamme de fréquences basses, les études in vitro sur des cellules de vertébrés non humains ont donné des résultats mitigés quant à la génotoxicité et la transformation cellulaire en cas d'exposition à des CEM RF. Les analyses précédentes dans ce domaine avaient conclu soit que les preuves de ces effets étaient peu probantes, soit que les études n'étaient pas concluantes. S'agissant des effets non génotoxiques de l'exposition aux CEM RF, certains rapports affirment que l'activité neuronale peut être modifiée in vitro par l'exposition aux CEM RF. D'autres effets cellulaires n'ont pas pu être prouvés ou font l'objet de controverses. Il n'y a aussi parfois pas suffisamment d'études pour parvenir à des conclusions relatives à ces effets. Les études in vivo concernant la génotoxicité des CEM RF ont donné des résultats contradictoires. La question de variations (passagères) de la perméabilité de la barrière entre le sang et le cerveau dues à l'exposition aux CEM RF fait l'objet de débats dans le champ scientifique.

Il semble que les études les plus récentes ne montrent pas de tels effets. Les résultats sont partagés en ce qui concerne les effets de l'exposition aux CEM RF sur le système neuronal *in vivo*. Il y aurait un consensus selon lequel les animaux peuvent entendre les CEM RF (pulsés) au-delà d'un certain seuil, ce que l'on appelle l'audition par micro-ondes. Toutefois, il n'existe que peu de preuves à l'appui de l'hypothèse selon laquelle les signaux de télécommunications peuvent entraîner cet effet. Les études environnementales sur l'exposition aux CEM RF et le comportement des vertébrés portent principalement sur la nidification, la reproduction, l'orientation et la présence des animaux à proximité des sources de CEM RF. Un faible nombre d'études concluent que l'exposition aux CEM RF peut modifier le comportement et la reproduction d'oiseaux ou de chauve-souris.

Invertébrés

L'exposition des invertébrés aux CEM RF de la gamme des fréquences basses a fait l'objet d'études par plusieurs auteurs. Outre le chauffage diélectrique, ces chercheurs ont examiné les effets sur le développement, la génétique ou le comportement. Les études *in vitro* ont montré une hausse de l'activité neuronale des invertébrés. Les études *in vivo* sur des invertébrés rencontrent plusieurs difficultés expérimentales et leurs résultats ne sont pas concluants concernant une série de paramètres étudiés. Il faut davantage de recherches de meilleure qualité, avec des groupes témoins faussement exposés. En ce qui concerne les rares études portant sur des invertébrés qui ne sont pas des insectes, toutes ont observé des effets (*in vitro* et *in vivo*). Des recherches plus poussées sont donc nécessaires à ce sujet. Un nombre très limité d'études environnementales se concentre sur les invertébrés et les travaux sur les invertébrés qui ne sont pas des insectes sont également sous-représentés. Il faudrait réaliser davantage de recherches sur ces sujets à l'avenir.

Plantes et champignons

Il a été prouvé que la gamme des fréquences basses provoquait un chauffage diélectrique des plantes. Ce phénomène peut avoir des effets bénéfiques mais entraîne aussi, à partir d'un certain niveau, une hausse de la mortalité. Dans le cas de niveaux d'exposition faibles aux CEM RF, les études sur les plantes et les champignons donnent des résultats contradictoires et sont entachées de lacunes expérimentales. Le nombre de travaux et de plantes étudiées, en particulier concernant les champignons, est faible par rapport aux études portant sur les animaux. Davantage de recherches sont nécessaires dans ce domaine en veillant à la meilleure qualité du groupe témoin et du groupe témoin de simulation, au contrôle de la température et de l'exposition et à la dosimétrie.

Gamme de fréquences hautes (6-300 GHz)

Vertébrés

S'agissant de la gamme de hautes fréquences, des études *in vitro* sur des neurones de vertébrés et d'invertébrés ont montré que l'exposition aux CEM RF affectait l'activité neuronale. Des études *in vivo* sur des vertébrés ont conclu que l'exposition de l'œil aux CEM RF pouvait entraîner des lésions de la cornée et de la cataracte. Elles ont aussi prouvé que la fertilité des mâles était affectée. Les liens entre l'exposition aux CEM RF et le comportement ou la présence de vertébrés font l'objet de résultats partagés. Un groupe d'étude a montré que les CEM RF pouvaient avoir un effet hypoalgésique chez les souris. Il faudrait que ces effets soient confirmés par d'autres groupes de recherche. Des indices concordants indiquent que les CEM RF de haute fréquence pourraient servir à provoquer une réponse anti-inflammatoire, jusqu'à une certaine dose. Un faible nombre d'études *in vivo* a conclu que les CEM RF de haute fréquence pouvaient réduire la croissance des tumeurs.

Invertébrés

Concernant la même gamme de fréquences, des chercheurs ont montré l'existence d'une stimulation neuronale *in vitro* et d'effets sur le développement et la tératogenèse des invertébrés à des densités de puissance relativement élevées *in vivo*. Ces effets devraient faire l'objet de

recherches supplémentaires à des densités de puissance plus basses. La recherche sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF à cette gamme de fréquences est limitée et nécessite d'être poursuivie.

Plantes et champignons

Concernant les champignons et les plantes, les études sur l'exposition à une gamme de hautes fréquences sont très peu nombreuses et n'ont pas montré autre chose, à l'heure actuelle, qu'un phénomène de chauffage diélectrique. Il convient de réaliser de plus amples recherches dans ce domaine.

4. Conclusions

On observe du chauffage diélectrique dû à l'exposition aux CEM RF dans toutes les catégories étudiées.

En ce qui concerne la gamme de fréquences basses (0,45-6 GHz), la majorité des études existantes sur le sujet portent sur des vertébrés et sur plusieurs effets potentiels. Celles qui se penchent sur l'exposition des invertébrés à la gamme de fréquences basses de CEM RF se concentrent sur le chauffage diélectrique et les effets sur le développement, la génétique et le comportement. On trouve très peu de recherches sur les invertébrés qui ne sont pas des insectes. Les études sur l'exposition des plantes à la gamme de fréquences basses souffrent de lacunes expérimentales. Le nombre de travaux dans cette catégorie est faible par rapport aux études portant sur les animaux.

Concernant la gamme des hautes fréquences (6-300 GHz), le nombre de publications revues par des pairs est globalement moindre que pour la gamme de basses fréquences. Dans le cas des vertébrés, une série de potentiels effets de l'exposition est étudiée tandis que les recherches sur les invertébrés et les plantes pour des fréquences supérieures à 6 GHz sont très peu nombreuses. Davantage de recherches sont nécessaires dans ce domaine.

5. Options stratégiques

Compte tenu des résultats de la présente analyse, quatre options stratégiques sont présentées.

La première consisterait à financer des recherches sur l'exposition des plantes, champignons et invertébrés aux CEM RF inférieurs à 6 GHz et sur des vertébrés non humains, plantes, champignons et invertébrés à des fréquences comprises entre 6 GHz et 300 GHz. Ces recherches pourraient former la base de politiques relatives à l'exposition des organismes non humains aux CEM RF fondées sur des éléments factuels.

Une deuxième option serait d'inviter à contrôler systématiquement les CEM RF environnementaux, étant donné qu'ils constituent la principale source d'exposition des organismes non humains et que cette exposition devrait changer avec le temps.

Une troisième possibilité serait de demander à rendre publics les renseignements sur les aspects opérationnels des CEM RF des réseaux de télécommunication. L'objectif serait là aussi de quantifier l'exposition aux CEM RF environnementaux au cours du temps.

La quatrième option consisterait à exiger des études de conformité relatives aux organismes non humains lorsque les antennes des stations de base sont installées sur le réseau de télécommunication. Cette option permettrait d'empêcher l'exposition excessive d'organismes non humains à proximité de ces antennes.

Table des matières

1. Introduction	1
1.1. Système de télécommunication sans fil	1
1.2. Exposition aux systèmes de télécommunication sans fil	3
1.3. Nouveaux aspects des systèmes de télécommunication sans fil de cinquième génération	4
1.3.1. Fréquences	4
1.3.2. Transmissions descendantes adaptables	4
1.3.3. Méthodes d'accès au canal	4
1.4. Exposition de la faune et de la flore aux CEM RF	5
1.5. Exposition des non-utilisateurs des réseaux de télécommunication sans fil	6
1.5.1. Réseaux actuels	6
1.5.2. Réseaux de cinquième génération	7
1.6. Justification et objectifs de l'analyse bibliographique	7
2. Méthodologie	9
2.1. Population	9
2.2. Exposition	9
2.3. Effets	9
2.4. Recherche en base de données	10
2.5. Post-traitement	11
2.5.1. Fréquences basses – vertébrés	11
2.5.2. Fréquences basses – invertébrés	11
2.5.3. Fréquences basses – plantes et champignons	11
2.5.4. Fréquences hautes – vertébrés	11
2.5.5. Fréquences hautes – invertébrés	11
2.5.6. Fréquences hautes – plantes et champignons	12

3. Résultats	13
3.1. Fréquences de télécommunication inférieures	13
3.1.1. Examen des effets sur les vertébrés	13
3.1.2. Examen des effets sur les invertébrés	30
3.1.3. Examen des effets sur les plantes et les champignons	50
3.2. Fréquences de télécommunication supérieures (6-300 GHz)	72
3.2.1. Examen des effets sur les vertébrés	72
3.2.2. Examen des effets sur les invertébrés	98
3.2.3. Examen des effets sur les plantes et les champignons	109
4. Limitations	119
5. Conclusions	120
5.1. Fréquences de télécommunication inférieures (450 MHz-6 GHz)	120
5.1.1. Vertébrés	120
5.1.2. Invertébrés	121
5.1.3. Plantes et champignons	121
5.2. Fréquences de télécommunication supérieures (6-300 GHz)	122
5.2.1. Vertébrés	122
5.2.2. Invertébrés	123
5.2.3. Plantes et champignons	123
6. Options stratégiques	124
6.1. Financement des recherches sur l'exposition environnementale aux CEM RF	124
6.2. Mesure systématique et suivi de l'exposition aux CEM RF environnementaux	125
6.3. Suivi des antennes des stations de base	126
6.4. Évaluations de la conformité et prévention de l'exposition aux CEM RF élevés à proximité des antennes des stations de base pour tous les organismes vivants	126
Références	128

Liste des graphiques

Figure 1 – Flowgraph of the post-processing of the literature review on low-frequency RF-EMF exposure of invertebrates _____ 31

Figure 2 – Flowgraph of the post-processing of the literature review on low-frequency RF-EMF exposure of plants and fungi _____ 50

Figure 3 – Flowgraph of the post-processing of the literature review on high-frequency RF-EMF exposure of vertebrates _____ 72

Figure 4 – Flowgraph of the post-processing of the literature review on high-frequency RF-EMF exposure of invertebrates _____ 98

Figure 5 – Flowgraph of the post-processing of the literature review on high-frequency RF-EMF exposure of plants and fungi _____ 110

Liste des tableaux

Table 1 – Overview of the most commonly studied telecommunication frequency bands (Velghe et al. 2019a)	2
Table 2 – Overview of review studies on RF-EMF exposure of vertebrates in the 0.4-6 GHz frequency band	15
Table 3 – Overview of papers that investigated RF heating of invertebrates (0.45-6 GHz)	33
Table 4 – Studies that investigate RF-EMF exposure (0.4-6 GHz) of <i>Apis Mellifera</i> (honey bee)	37
Table 5 – Studies that investigate RF-EMF exposure (0.4-6 GHz) of <i>Drosophila Melanogaster</i> (fruit fly)	38
Table 6 – Studies that investigate RF-EMF exposure (0.4-6 GHz) of ants	42
Table 7 – Studies that investigate RF-EMF exposure (0.4-6 GHz) of <i>Tenebrio Molitor</i> (beetle)	45
Table 8 – Studies that investigate RF-EMF exposure (0.4-6 GHz) of non-insect invertebrates	47
Table 9 – Effects of RF-EMF (0.01-6 GHz) treatment of plant seeds with the aim of applying dielectric heating	52
Table 10 – Overview of studies investigating effects of RF-EMF exposure on plant morphogenesis in the lower studied frequency range	60
Table 11 – Studies that investigated neural activity in vertebrate cells in vitro under RF EMF exposure between 6 and 300 GHz	74
Table 12 – In vitro studies of vertebrate cells under RF EMF exposure between 6 and 300 GHz	78
Table 13 – Studies that investigated dielectric heating of rodents in the 6-300 GHz frequency range	81
Table 15 – Studies that investigate in vivo exposure of the vertebrate eye exposed to RF-EMFs (6-300 GHz)	95
Table 16 – Overview of studies investigating dielectric heating of insects using high frequency (6-300 GHz) RF-EMF exposure	100
Table 17 – Overview of studies investigating effects of exposure of insects and spiders to high frequency (6-300 GHz) RF-EMFs	103
Table 18 – Overview of studies investigating neuromodulation due to exposure of invertebrates to high frequency (6-300 GHz) RF-EMFs	106
Table 19 – Overview of studies investigating effects of high frequency (6-300 GHz) RF-EMF exposure of <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	112
Table 20 – Overview of studies investigating effects of RF-EMF exposure on plants in the higher studied frequency range	115

1. Introduction

1.1. Système de télécommunication sans fil

La télécommunication sans fil est une technologie largement répandue et en pleine expansion en Europe. Elle repose dans la plupart des cas sur des champs électromagnétiques (CEM), qui sont généralement définis par leur longueur d'onde ou leur fréquence. La fréquence désigne le nombre d'oscillations décrites par une onde par unité de temps, exprimée en Hz ou en s^{-1} . Les CEM de fréquence plus haute dégagent davantage d'énergie et peuvent ioniser des molécules et atomes. Cette gamme de fréquences est donc appelée rayonnement ionisant. Les CEM utilisés par les systèmes de télécommunication sans fil sont situés à des fréquences plus basses et ne peuvent pas ioniser la matière. Ils sont donc classés comme rayonnements non ionisants (CIPRNI, 2020). Les CEM de radiofréquences (RF) sont une gamme particulière d'ondes non ionisantes, établie à des fréquences comprises entre plusieurs kHz et 300 GHz.

La télécommunication sans fil lie plusieurs utilisateurs d'un réseau sans fil. Dans la plupart des réseaux de télécommunication à grande échelle, ces utilisateurs ne sont pas directement connectés l'un à l'autre mais à un ou plusieurs fournisseurs de réseau intermédiaires. Ces fournisseurs de réseau exploitent un réseau sans fil connecté à un réseau dorsal filaire. Ce réseau sans fil couvre les zones dans lesquelles les utilisateurs peuvent accéder au service et qui sont définies comme suit, par ordre croissant de taille: attocellule, femtocellule, picocellule, microcellule et macrocellule. Les réseaux fournissent un service aux utilisateurs en émettant des CEM RF qui transportent les signaux. Ce sont les antennes qui émettent et reçoivent les CEM RF.

Les antennes constituent la structure intermédiaire entre les CEM guidés et ceux qui se propagent librement. Celles qui composent les réseaux sans fil des fournisseurs sont variées. Les plus diverses sont les antennes de station de base (Thielens et al., 2013). Il s'agit de réseaux d'antennes (un ensemble d'antennes qui collaborent et dont la disposition suit un plan prédéfini), habituellement installées sur les côtés ou au sommet de tours ou de bâtiments élevés. Les antennes de station de base servent aux macrocellules, à savoir des zones de plusieurs kilomètres carrés couvrant un nombre d'utilisateurs assez important. Pour couvrir des zones si étendues, elles consomment des centaines de watts en électricité. À l'autre extrémité de la gamme des antennes à disposition des fournisseurs de réseau se trouvent les antennes attocellulaires et femtocellulaires, qui sont plus petites, parfois intégrées à des structures existantes (Torfs et al., 2018) et couvrent des zones de quelques décimètres carrés à quelques mètres carrés. Les antennes de ce type émettent des radiofréquences moins puissantes et sont déployées dans des bureaux ou des zones résidentielles. Les utilisateurs sont connectés au réseau par leurs appareils mobiles personnels, qui contiennent des antennes miniaturisées, dont la conception est souvent adaptée à un appareil particulier (Rowell et Lam, 2012).

La télécommunication repose sur un trafic sans fil bidirectionnel entre le réseau, d'une part, et les utilisateurs, d'autre part, ou, dans certains cas, directement entre deux utilisateurs. La connexion sans fil par laquelle passe l'information du réseau vers l'utilisateur est appelée liaison descendante, tandis que la direction inverse est une liaison montante. Certaines technologies sans fil ne vont que dans un sens. Lorsque c'est le cas, les utilisateurs reçoivent uniquement des signaux du réseau et n'envoient aucune information au réseau. C'est ce qu'on appelle la diffusion. On peut citer en exemple la radiodiffusion et la télédiffusion sans fil.

Le spectre de radiofréquences est réglementé et certaines bandes de fréquences peuvent servir aux télécommunications. Au sein de l'Union européenne, le Comité des communications électroniques (ECC) de la Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (CEPT) est chargé de la planification (future) et de l'harmonisation du spectre des RF au sein de

l'Union (<https://efis.cept.org/>). Il existe quelques différences mineures d'un État membre de l'Union à un autre (ECC, 2019). Les réseaux actuels exploitent des fréquences comprises entre 0,1 GHz et 6 GHz (Bhatt et al., 2016). Dans l'Union, les bandes de fréquences les plus fréquemment étudiées pour leurs liens avec l'exposition des personnes aux CEM RF (Velghe *et al.*, 2019a) sont indiquées au Tableau 1. On trouvera une vue d'ensemble complète de toutes les bandes de fréquences attribuées dans l'Union dans la référence ECC de 2019.

Tableau 1 – Vue d'ensemble des bandes de fréquences de télécommunication les plus fréquemment étudiées (Velghe et al., 2019a)

Système	Fréquence (MHz)
Radio FM	87,5-108
DVB	470-790
800 descendante	791-821
800 montante	832-862
900 montante	880-915
900 descendante	925-960
1800 montante	1710-1785
1800 descendante	1805-1880
DECT	1880-1900
2100 montante	1920-1980
2100 descendante	2110-2170
Réseau local sans fil	2400-2485
2600 montante	2500-2570
2600 descendante	2620-2690
Réseau local sans fil	5150-5875

Le Tableau 1 contient une liste de plusieurs bandes de fréquence attribuées à une technologie sans fil. La radio à fréquence modulée (FM) est une technologie de diffusion utilisée pour les transmissions radio. La radiodiffusion télévisuelle numérique (DVB) est une technologie de diffusion servant à transmettre des émissions de télévision numérique aux utilisateurs. La télécommunication numérique améliorée sans fil (DECT) est une technologie de télécommunication utilisée pour les communications entre une petite station de base et des téléphones sans fil (plusieurs). Le réseau local sans fil (WLAN) est un réseau de petites à moyennes dimensions permettant d'accéder à l'internet à son domicile ou au travail, comme un réseau Wi-Fi. Les bandes de fréquence indiquées au Tableau 1 et désignées par l'utilisation d'une fréquence et l'indication «montante» ou «descendante» étaient précédemment attribuées à une technologie de télécommunication particulière.

Mais ces dernières années, les bandes de fréquences ont été redistribuées et étendues aux diverses technologies, au lieu d'être attribuées à une technologie particulière. Les technologies les plus courantes sont le système global de communications mobiles (GMS), le système universel de télécommunications mobiles (UMTS) et le LTE (*long-term evolution*), qui représentent les deuxième, troisième et quatrième générations de réseaux de télécommunications, respectivement.

1.2. Exposition aux systèmes de télécommunication sans fil

Compte tenu de la généralisation des systèmes de télécommunication sans fil, de nombreux animaux et plantes sont exposés à des CEM RF. Il existe divers scénarios d'exposition aux CEM RF, classés en fonction des paramètres de la source de l'exposition et de l'organisme exposé. De manière générale, la source sera interne à l'organisme (comme un implant), en contact direct avec lui (comme des électrodes à hautes fréquences) ou externe (comme une antenne de station de base). Selon le type et la configuration de la source et la fréquence du CEM RF, l'exposition peut concerner l'ensemble du corps, c'est-à-dire que l'organisme est (uniformément) exposé dans son intégralité aux CEM RF, ou être locale, ce qui signifie que seule une partie de l'organisme reçoit une quantité significative de CEM RF. Lorsque la source du champ est externe, les scénarios d'exposition sont classés en plusieurs catégories en fonction de la distance séparant la source et l'organisme. En champ lointain, la distance entre la source du CEM RF et l'organisme s'exprime par la formule $2D^2/\lambda$, dans laquelle D est la dimension maximale de la source ou de l'organisme et λ la longueur d'onde. Lorsque la source est plus près de l'organisme, on parle d'exposition en champ proche. Bien souvent, les sources en champ lointain entraînent une exposition du corps entier, tandis que les sources en champ proche sont à l'origine d'une exposition locale. Ce n'est toutefois pas vrai dans tous les cas et cela devrait changer avec les futurs réseaux sans fil (voir la section 1.3).

Ces CEM RF peuvent pénétrer les milieux biologiques, qui peuvent les absorber (CIPRNI, 2020). Cette absorption peut se quantifier au moyen du débit d'absorption spécifique (DAS, exprimé en W/kg), qui représente la quantité de puissance absorbée par une masse donnée. Cette grandeur n'est significative que lorsqu'on en fait la moyenne sur un volume ou une masse donnés. Le DAS moyen du corps entier est une grandeur couramment utilisée pour estimer l'exposition aux CEM RF concernant l'ensemble de l'organisme. Elle n'est pas nécessairement pertinente en cas d'exposition locale. Par conséquent, un volume ou une masse réduits moyens sont nécessaires pour caractériser une exposition locale. Ce volume ou cette masse est généralement définie de sorte que la valeur seuil du DAS moyen de ce volume ou cette masse corresponde à un effet biologique. Le champ de recherche qui porte sur le DAS dans différentes conditions d'expositions est la dosimétrie de champ électromagnétique de radiofréquences. D'autres grandeurs peuvent servir à quantifier l'exposition aux CEM RF lorsque l'absorption n'est pas l'objet d'étude. On peut ainsi déterminer la magnitude des champs électriques et magnétiques internes et des courants dans les tissus biologiques.

Il n'est souvent pas possible de mesurer et/ou quantifier les CEM à l'intérieur d'un organisme. Par conséquent, l'exposition aux CEM RF est souvent quantifiée en étudiant les CEM RF incidents, qui désignent des champs qui se trouveraient à l'emplacement d'un organisme si cet organisme n'était pas là. Ces champs incidents permettent de connaître les CEM internes (et leur absorption). Cette exposition peut se quantifier au moyen de la puissance du champ électrique (E en V/m), qui correspond à l'amplitude du champ électrique (E). On peut aussi quantifier l'exposition aux CEM RF par la densité de puissance électromagnétique (S en W/m²).

Dans un espace libre, donc sans interférence ou blocage dû à des objets dans l'environnement, E et S diminuent en fonction de la distance avec l'antenne émettrice (pertes de propagation). Il s'agit d'une autre différence de taille entre les expositions en champ proche et en champ lointain. Le DAS découlant d'une antenne et la densité de puissance alentour forment une fonction linéaire avec la puissance d'entrée en radiofréquences de l'antenne. L'amplitude du champ électrique augmente au carré en fonction de l'augmentation de la puissance d'entrée.

Dans le cas d'une source interne, d'une source de CEM RF en contact direct avec un organisme ou d'une exposition en champ proche à une source de CEM RF externe, il n'existe pas de relation fixe entre les magnitudes des CEM RF, la densité de puissance et le DAS ou les magnitudes des champs internes. Il faut évaluer ces grandeurs d'exposition au cas par cas. Il est toutefois généralement possible de déterminer des limites inférieures et supérieures de l'exposition. Dans le contexte d'une

source externe en champ éloigné, il existe une relation fixe entre la densité de puissance et l'intensité du champ électrique, à savoir $S=E^2/377$.

La recherche sur l'exposition aux CEM RF en population générale distingue les utilisateurs des non-utilisateurs des réseaux de télécommunication. Ces deux catégories sont exposées aux CEM RF environnementaux émis par les réseaux de télécommunication et les autres utilisateurs environnants. Ces sources sont généralement situées dans le champ lointain du sujet exposé. Cependant, les utilisateurs des réseaux de télécommunication sont également exposés aux CEM RF de leurs appareils personnels, situés dans leur champ proche.

1.3. Nouveaux aspects des systèmes de télécommunication sans fil de cinquième génération

1.3.1. Fréquences

L'objectif des réseaux de télécommunication de cinquième génération (5G) est de permettre d'utiliser des vitesses de bande large mobile bien plus élevées et davantage de données. L'une des modifications technologiques qui devrait permettre d'atteindre ces objectifs est l'utilisation de bandes de fréquences supplémentaires (plus élevées) du spectre des CEM RF. Les bandes pionnières de la 5G au niveau de l'Union sont les bandes de fréquences de 700 MHz (694-790 MHz), de 3,6 GHz (3,4-3,8 GHz) et de 26 GHz (24,25-27,5 GHz) (Pujol et al., 2020).

1.3.2. Transmissions descendantes adaptables

Dans le cadre des réseaux actuels, les transmissions descendantes ont lieu au moyen d'un large faisceau fixe qui couvre un secteur d'une cellule. L'un des objectifs des réseaux 5G est de servir plusieurs utilisateurs en même temps à la même fréquence porteuse avec la même antenne de station de base. Il faut pour ce faire améliorer le rapport signal/bruit et le rapport signal/interférence pour chaque utilisateur. Pour améliorer le rapport signal/bruit d'un faisceau fixe, il faut augmenter la puissance d'entrée totale du faisceau. Cette augmentation ne correspond pas à ce qui est recherché et ne résout pas le problème du rapport signal/interférence. Les réseaux 5G font donc appel à de nouvelles méthodes pour procéder aux transmissions DL. L'une des principales approches qui sera utilisée à cette fin consiste à se servir de transmissions adaptables émises par les réseaux d'antennes des stations de base pour transmettre des liaisons descendantes aux utilisateurs (Marzetta, 2010). Dans sa forme la plus simple, cette approche accorde la phase et l'amplitude de chaque élément du réseau d'antennes afin de produire un signal de réception le plus puissant possible sur l'appareil de l'utilisateur (optimisation du rapport signal/bruit). Lorsque l'utilisateur se déplace au sein du réseau, ces phases et amplitudes sont adaptées pour maintenir un haut rapport signal/bruit. Dans ses formes plus complexes, les phases et amplitudes des éléments des stations de base sont choisies afin d'augmenter les champs concernant un utilisateur donné, tout en réduisant simultanément les champs concernant d'autres utilisateurs (optimisation des rapports signal/bruit et signal/interférence) (Marzetta, 2010). Lorsqu'un utilisateur se situe dans la ligne de vue d'une station de base, ces dispositifs de précodage du réseau aboutissent à la formation d'un faisceau étroit dirigé vers l'utilisateur (Thors et al., 2017). Lorsqu'il se trouve sur une ligne de vue obstruée ou hors de la ligne de vue, la puissance des champs environnant l'appareil de l'utilisateur est augmentée (Shikhantsov et al., 2020).

1.3.3. Méthodes d'accès au canal

Il est également prévu que les réseaux 5G exploitent de nouvelles méthodes d'accès aux canaux. Lors du déploiement initial de la 5G, appelée nouvelle radio 5G, la méthode d'accès au canal choisi a été le duplexage par répartition dans le temps (Baracca et al., 2018; Thors et al., 2017). Cette méthode attribue la même fréquence (blocs) aux liaisons montantes et descendantes d'un

utilisateur donné (ou d'un ensemble d'utilisateurs). Différentes périodes sont alors attribuées à la transmission des liaisons montantes et descendantes. Au lieu d'attribuer l'ensemble de la bande passante disponible à tous les utilisateurs, la nouvelle radio 5G attribuera aussi une partie de la bande passante disponible à des utilisateurs spécifiques (Aerts et al., 2019). Cela permet de disposer d'un plus grand nombre de possibilités de configuration du réseau.

1.4. Exposition de la faune et de la flore aux CEM RF

La grande majorité de la faune et de la flore, des vertébrés non humains, des invertébrés ou des plantes n'utilise pas de technologie ou de réseau sans fil. Ces êtres vivants relèvent donc, en ce qui concerne l'exposition aux CEM RF, de la catégorie des non-utilisateurs. Leurs principales sources d'exposition aux CEM RF sont des sources en champ lointain (voir la section 1.5). S'agissant de la distinction entre plantes et animaux dans le contexte de l'exposition aux CEM RF, la différence la plus évidente est que les plantes sont immobiles, et donc que leur orientation par rapport aux CEM RF des antennes de station de base du réseau est constante. Les plantes s'appuient sur des CEM de haute fréquence pour la photosynthèse et peuvent avoir des rapports surface/volume très élevés pour maximiser leur exposition à la lumière du soleil. Cela en fait évidemment de très bonnes réceptrices d'autres sources de CEM en champ lointain, comme la plupart des sources de CEM RF (Alain Vian et al., 2007). Les variations dans le temps de l'exposition des plantes aux CEM RF peuvent se produire en raison de modifications du réseau dans le temps et de l'apparition d'utilisateurs mobiles émettant des CEM RF dans le voisinage d'une plante. La mobilité des animaux est à l'origine de variations temporelles supplémentaires de leur exposition aux CEM RF étant donné que l'exposition des non-utilisateurs dépend de l'emplacement (voir la section 1.5).

Si la plupart des vertébrés non humains font face à une exposition en champ proche limitée, le nombre de technologies sans fil qui les exposent à des CEM RF à courte distance augmente. Le suivi radio ou la télémétrie radio sont des techniques fréquemment utilisées pour suivre des vertébrés dans la nature (White et Garott, 2012; Godfrey, 2003; Millspaugh et Marzluff, 2001). Des réseaux sans fil spécialisés ont été déployés pour suivre des animaux par radiofréquences dans la nature (Panicker, Azman et Kashyap, 2019). Un nombre croissant de technologies sans fil est aussi utilisé en agriculture (S. Benaïssa et al., 2017; Dlodlo et Kalezhi, 2015; Said Benaïssa et al., 2016).

Certaines applications sans fil émettent aussi des CEM RF en champ proche auxquels sont exposés des invertébrés. Ainsi, le radar d'entomologie est une technologie qui exploite la dispersion des CEM par les insectes pour les repérer. En effet, lorsque la station radar émet une pulsation de CEM RF vers un insecte, les CEM sont partiellement réfléchis par l'insecte et ces champs réfléchis sont détectés par la station radar. Le radar d'entomologie est utilisé pour étudier les comportements et la prolifération des insectes (Chapman, Drake et Reynolds, 2011; Glover et al., 1966; Riley, 1985). Il existe également des réseaux de capteurs sans fil visant à suivre des insectes pollinisateurs (Edwards-Murphy et al., 2016; Henry et al., 2019; Kridi, de Carvalho et Gomes, 2016). En outre, quelques études de télémétrie ont porté sur des insectes (Daniel Klissling, Pattermore et Hagen, 2014). Il s'agit d'un champ dans lequel un insecte est suivi sans fil en attachant une balise RF à l'animal, laquelle envoie des informations à un récepteur à distance. Enfin, les CEM RF sont utilisés dans l'agriculture pour traiter les grains, noix et fruits stockés (Das, Kumar et Shah, 2013a). L'application de ces technologies devrait croître dans les années à venir.

Le nombre d'outils agricoles de suivi sans fil augmente (Ruiz-Garcia et al., 2009). Des réseaux de capteurs sans fil sont déployés dans le domaine agricole pour suivre la croissance des feuilles (Palazzari et al., 2015; S. N. Daskalakis et al., 2018; Zhao et al., 2019), le développement des plantes (Burell, Brooke et Beckwith, 2004), l'humidité du sol (S. N. Daskalakis et al., 2016; Vellidis et al., 2008) et d'autres applications (Ruiz-Garcia et al., 2009). Ces applications ont principalement recours à des technologies sans fil sur des bandes de fréquences libres, comme Bluetooth et Zigbee (Ruiz-Garcia et al., 2009) et exposent les plantes à des CEM RF en champ proche. Il est possible que des solutions

sans fil compatibles avec le réseau 5G soient déployées à l'avenir, ce qui exposerait les plantes à des CEM RF émis par les utilisateurs.

1.5. Exposition des non-utilisateurs des réseaux de télécommunication sans fil

La plupart des organismes relevant des catégories étudiées dans la présente analyse ne sont pas des utilisateurs de réseaux de télécommunication sans fil. La présente section contient donc une introduction aux spécificités de l'exposition des non-utilisateurs aux CEM RF.

1.5.1. Réseaux actuels

Plusieurs méthodes permettant de mesurer l'exposition des non-utilisateurs de réseaux de télécommunication sans fil ont été proposées. Une approche s'appuie sur les mesures dites «sur site», lorsque l'exposition aux CEM RF est mesurée au moyen d'une antenne réceptrice statique, généralement capable de relever trois composantes orthogonales d'un champ incident. Cette antenne est alors associée à un analyseur de spectre qui enregistre la puissance reçue comme fonction de la fréquence (Joseph et al., 2019; Aerts et al., 2019). Cette méthode bénéficie d'une incertitude de mesure relativement faible mais prend un temps considérable, nécessite la présence d'un opérateur formé et est stationnaire. Elle n'est donc pas adaptée aux enquêtes sur les mesures de population qui couvrent de vastes zones. Concernant la mesure de l'exposition aux CEM RF des non-utilisateurs, on utilise généralement des appareils portés à la main et transportables. L'appareil le plus commun pour ce type de mesures est l'exposimètre électromagnétique personnel (Thielens, Van den Bossche et al., 2018; Bolte, 2016), un appareil porté à même le corps qui mesure l'exposition aux CEM RF sur une gamme de bandes de fréquences (voir [Tableau 1](#)). Rössli et al. (2010) ont proposé un protocole d'utilisation de ces appareils de mesure dans le cadre des études portant sur l'exposition aux CEM RF des populations. Neubauer et al. (2010) et Bolte (2016) ont étudié à quel point les mesures effectuées au moyen d'exposimètres personnels correspondaient à l'exposition réelle des non-utilisateurs (et utilisateurs) aux CEM RF.

Ces méthodes de mesure ont servi à réaliser des recherches sur les facteurs d'exposition des non-utilisateurs aux CEM RF. L'exposition des non-utilisateurs aux CEM RF varie en fonction de l'emplacement (Bhatt et al., 2016; Bolte et Eikelboom, 2012; P. Frei et al., 2009; Sagar et al., 2016; 2018; Thielens, Van den Bossche et al., 2018; Urbinello, Huss et al., 2014; Velghe et al., 2019b). Ces variations ont été validées par des simulations géospatiales électromagnétiques qui tenaient compte des paramètres de l'antenne et des modèles de propagation électromagnétique (Beekhuizen et al., 2013; 2014; Bürgi et al., 2010). Plusieurs équipes ont mis en avant le rôle de la densité de population comme facteur permettant de prédire une plus forte exposition aux CEM RF en champ lointain (Bhatt et al., 2016; Sagar et al., 2018; Velghe et al., 2019b). De nombreuses études ont montré l'existence de variations temporelles de l'exposition des non-utilisateurs aux CEM RF (Aerts et al., 2018; Velghe et al., 2019b; Joseph et al., 2009; Bolte et Eikelboom, 2012; Birks et al., 2018; P. Frei et al., 2009). Des variations environnementales et des changements de trafic de données sans fil au sein du réseau sont à l'origine de ces fluctuations temporelles (Joseph et al., 2009; Mahfouz et al., 2012). Des recherches ont aussi porté sur l'éventuelle influence de la réglementation de l'exposition aux CEM RF sur cette exposition des non-utilisateurs. Urbinello, Joseph et al. (2014) ont effectué des mesures dans trois pays européens aux réglementations de l'exposition aux CEM RF différentes et n'ont pas observé d'effets significatifs. Velghe et al. (2019b) ont étudié l'effet des différences de réglementation en Belgique et n'ont observé des effets que sur l'exposition aux liaisons descendantes et pas sur l'exposition totale.

1.5.2. Réseaux de cinquième génération

Les chercheurs s'attendent à ce que l'introduction de la 5G modifie l'exposition aux CEM RF (Aerts et al., 2019). Dans le cadre des technologies mobiles sans fil actuelles, les transmissions de données sont effectuées au moyen de faisceaux fixes de la taille d'une cellule. Par conséquent, l'exposition aux liaisons descendantes peut changer au sein d'une cellule en fonction de l'obstruction (bâtiments, véhicules, etc.), ce qui modifie la propagation des CEM RF vers l'utilisateur. Cependant, les stations de base n'adaptent pas leurs modèles de rayonnement, qui sont spécifiques à un utilisateur ou un lieu donné. L'une des principales différences avec les réseaux actuels est que l'exposition aux stations de base (soit l'exposition aux liaisons descendantes) dépendra du fait que la personne utilise ou non le réseau (Velghe et al., 2020).

L'exposition aux liaisons descendantes dans le cadre du réseau 5G sera décomposée en trois éléments (Velghe et al., 2020). Le premier concerne la diffusion descendante, car les réseaux enverront un signal de contrôle depuis les stations de base pour trouver d'éventuels utilisateurs au sein du réseau. Le deuxième élément, auto-induit, est la transmission de données en liaison descendante. Il s'agit d'une transmission ciblée allant de la station de base à l'utilisateur en vue de transmettre des données. Elle peut prendre la forme d'un faisceau étroit de la station de base vers l'appareil de l'utilisateur ou d'une zone de rayonnement plus élevée des CEM RF destinés à l'appareil de l'utilisateur, créée par des interférences constructives. Le troisième élément découle de signaux de transmission de données environnementales (trafic) en liaison descendante. Il s'agit de l'exposition provoquée par des transmissions ciblées des stations de base vers d'autres utilisateurs proches. Un non-utilisateur ne sera pas soumis à l'élément auto-induit d'exposition aux liaisons descendantes, qui devrait être la principale composante de l'exposition aux liaisons descendantes (Baracca et al., 2018). Outre les CEM RF en liaison descendante, un non-utilisateur sera aussi exposé aux signaux montants des utilisateurs proches. Les réseaux de télécommunication actuels exploitent principalement des fréquences de CEM RF inférieures à 6 GHz (Bhatt et al., 2016). De nouvelles fréquences supérieures à 6 GHz seront toutefois utilisées dans les réseaux 5G (Pi et Khan, 2011; Pujol et al., 2020). Bakker et al. (2011) et Thielens et al. (2013) ont déjà montré que les CEM internes dépendaient de la fréquence des CEM incidents. Par conséquent, l'exposition des non-utilisateurs changera aussi lorsque les fréquences utilisées par les systèmes de télécommunication changeront.

Outre ces changements de la dimension physique des réseaux, la cinquième génération emploiera aussi de nouvelles méthodes d'accès au canal (Thors et al., 2017) et de nouvelles architectures de réseau (Torfs et al., 2018). L'ensemble de ces facteurs modifiera l'exposition des non-utilisateurs dans le cadre des réseaux 5G. Des mesures sur site peuvent permettre de quantifier cette exposition (Aerts et al., 2019) après que les réseaux 5G sont déployés dans l'environnement.

1.6. Justification et objectifs de l'analyse bibliographique

Les sections précédentes de l'introduction ont montré que la faune et la flore seraient exposées aux CEM RF et que cette exposition changerait avec l'arrivée des réseaux 5G. Les études existantes sur les effets de l'exposition aux CEM RF de la faune et de la flore ont été réalisées sans qu'il ait été tenu compte de ces évolutions. Il est donc possible que les connaissances actuelles sur ces changements prévus conduisent à réinterpréter les recherches existantes sur les effets de l'exposition de la faune et de la flore aux CEM RF. Le changement prévu des fréquences de télécommunication est notamment un facteur qui n'a été l'objet d'aucune des études précédentes sur les effets des CEM RF sur la faune et la flore.

L'objectif de la présente analyse est donc de passer en revue les études portant sur les effets de l'exposition des CEM RF sur la faune et la flore aux fréquences de télécommunication actuelles et futures. À cette fin, une recherche dans la base de données des recherches actuelles dans ce

domaine sera réalisée. Les études seront classées en deux groupes: d'une part, les études qui évaluent les effets de l'exposition aux CEM RF à une gamme de fréquences basses (450 à 6 000 MHz), qui comprend également les fréquences utilisées par les générations précédentes de réseau cellulaire à bande large. D'autre part, la deuxième catégorie contiendra des études ayant trait à l'exposition aux CEM RF d'une gamme de fréquences hautes (6 à 300 GHz). Ces deux sous-ensembles seront synthétisés et examinés, ce qui permettra de tirer des conclusions quant aux effets dont la recherche a montré l'existence.

2. Méthodologie

La présente section contient la méthode utilisée pour passer en revue les recherches existantes sur les effets de l'exposition de la faune et de la flore aux CEM RF de réseaux 5G.

2.1. Population

Toutes les études obtenues à l'issue de la recherche en base de données sont classées selon trois groupes taxonomiques: 1) les invertébrés, 2) les vertébrés et 3) les plantes et les champignons. Toutes les études portant sur l'être humain ont été exclues de la catégorie des vertébrés. Celles qui étudiaient l'exposition de populations de vertébrés, invertébrés et plantes aux CEM RF in vivo et in vitro ont été retenues, tout comme les études d'observation, les études de population et les études d'évaluation de l'exposition qui ciblaient les groupes taxonomiques susmentionnés.

2.2. Exposition

Sont intégrées à l'analyse les études évaluant l'exposition aux CEM RF exploités par les réseaux de télécommunication, en particulier les fréquences définies comme normes par l'Union européenne, à savoir celles comprises entre 450 MHz et 300 GHz. Elles se répartissent en deux catégories:

- Les fréquences de télécommunication actuellement utilisées: 450 MHz – 6 GHz
- Les nouvelles fréquences de télécommunication utilisées: 6 GHz – 300 GHz

La première catégorie est désignée ci-après «fréquences basses» et la seconde «fréquences hautes». En combinant ces catégories aux trois groupes taxonomiques étudiés, on obtient six catégories définies avant l'analyse des études disponibles:

- «Fréquences basses» (450 MHz - 6 GHz): démonstration d'effets sur les vertébrés
- «Fréquences basses» (450 MHz - 6 GHz): démonstration d'effets sur les invertébrés
- «Fréquences basses» (450 MHz - 6 GHz): démonstration d'effets sur les plantes et les champignons
- «Fréquences hautes» (6 - 300 GHz): démonstration d'effets sur les vertébrés
- «Fréquences hautes» (6 - 300 GHz): démonstration d'effets sur les invertébrés
- «Fréquences hautes» (6 - 300 GHz): démonstration d'effets sur les plantes et les champignons

À l'issue de l'analyse des résultats de la recherche en base de données, les études ont été subdivisées à nouveau en sous-catégories (voir la section 2.4).

2.3. Effets

Les études portant sur les effets ci-après associés à l'exposition aux CEM RF ont été intégrées à l'analyse: effets reproductifs, morphogénèse, carcinogénécité, hyperthermie, chauffage diélectrique, cataracte, développement, orientation, mécanismes de mouvement, diversité et abondance de population, effets comportementaux, sens magnétique, effets neurologiques, génotoxicité, expression génétique, expression de protéine, effets cardiovasculaires, effets auditifs, effets cérébraux et effets physiologiques. Les études comprenant des populations non traitées ou traitées par placebo (groupe témoin et groupe témoin de simulation) étaient préférées, mais d'autres études ont aussi été ajoutées à l'analyse.

2.4. Recherche en base de données

Les études n'ont pas été sélectionnées en fonction de leur conception. Toutefois, les études non originales ont été écartées. L'analyse s'est d'abord limitée aux articles de revues à comité de lecture publiés après 1945 en anglais. La présence de la revue sur la plateforme *Web of science* de l'ISI a servi de critère relatif à l'existence ou non d'un comité de lecture. Toutefois, d'autres publications, servant de références à la série de publications ainsi sélectionnées, ont aussi été intégrées au jeu de données, lorsqu'elles étaient en anglais et portaient sur l'une des populations étudiées, l'une des expositions étudiées et l'un des effets étudiés.

Une recherche systématique de *Web of science* suivant des bases de données universitaires électroniques a permis de trouver des archives éventuellement admissibles. Les mots-clefs ci-après ont été utilisés pour réaliser des recherches adaptées aux bases de données:

EXPOSITION (EXPOSURE): CEM (EMF); RAYONNEMENT EM (EMR); RAYONNEMENT RADIOÉLECTRIQUE (RFR); 5G; cinquième génération (fifth generation); rayonnement radioélectrique (radiofrequency radiation); radiofréquences (radiofrequency); radio-fréquences (radio-frequency); électromagnétique (electromagnetic); champ électromagnétique (electromagnetic field); rayonnement électromagnétique (electromagnetic radiation); onde millimétrique (millimeter wave); micro-onde (microwave);

et

POPULATION (vie sauvage) [POPULATION (wildlife)]: vie sauvage (wildlife); biodiversité (biodiversity); faune (fauna); animal, animaux [animal(s)];

ou

POPULATION (vertébrés) [POPULATION (vertebrates)]: in vivo (in vivo); rongeur(s) [rodent(s)]; rat(s) [rat(s)]; souris (mouse); souris (mice); vertébré(s) [vertebrate(s)]; mammifère(s) [mammal(s)]; poisson(s) (fish); amphibien(s) [amphibian(s)]; oiseau(x) [bird(s)].

ou

POPULATION (invertébrés) [POPULATION (invertebrates)]: invertébré(s) [invertebrate(s)]; insecte(s) [insect(s)]; arthropode(s) [arthropod(s)]; mollusques (mollusks); Mollusca (Mollusca); annélides (annelids); ver(s) [worm(s)]; escargot(s) [snail(s)]; Cnidaria (Cnidaria); cnidaire(s) [Cnidarian(s)]; arachnide(s) [Arachnid(s)]; Arachnida (Arachnida); crustacés (Crustaceans); Crustacea (Crustacea); coraux [Coral(s)]; Anthozoa (Anthozoa); échinoderme(s) [Echinoderm(s)]; éponge(s) [sponge(s)]; méduses (jellyfish);

ou

POPULATION (plantes) [POPULATION (plants)]: plante(s) [plant(s)]; arbre(s) [tree(s)]; fleur(s) [flower(s)]; plantae (plantae); algues (algae); champignons (fungi); mousse(s) [moss(es)]; fougère(s) [fern(s)].

Les études découlant de ces recherches ont été examinées pour déterminer leur pertinence et les informations pertinentes de ces articles ont été extraites pour synthétiser les conclusions des études sélectionnées. Tous les résultats se situant clairement en dehors du champ de recherche des CEM RF et ceux qui n'ont pas étudié les effets des CEM RF ont été écartés. Des critères spécifiques d'intégration ou d'exclusion et des sous-catégories ont ensuite été appliqués à chaque catégorie.

2.5. Post-traitement

Dans toutes les catégories, à l'exception de celle intitulée «Fréquences basses – vertébrés», les articles retenus ont été classés en deux sous-ensembles: le premier contient les études qui étaient listées mais pas synthétisées et examinées (type I), tandis que le second rassemble les études synthétisées, examinées et tabulées (type II). Le type d'effets et de sujets différait pour chaque catégorie, étant donné que différents effets de l'exposition aux CEM RF étaient étudiés dans chacune d'entre elles. Pour chaque catégorie, les études ont ensuite été regroupées en fonction des effets par sujets.

2.5.1. Fréquences basses – vertébrés

Dans cette catégorie, une méta-analyse des recherches relatives à l'exposition de vertébrés aux CEM RF de la gamme de fréquence comprise entre 0,45 et 6 GHz a été menée. Par conséquent, les articles de recherches originales (in vivo, in vitro, expérimentales, d'observation, de population, d'évaluation de l'exposition, de dosimétrie, et sur des paramètres diélectriques) n'ont pas été étudiés et ne figurent pas dans cette catégorie. Seuls les articles revus par des pairs ou les rapports mentionnés comme référence dans des articles revus par des pairs étudiant un ou plusieurs effets provoqués par l'exposition de vertébrés non humains ou de cellules de vertébrés aux CEM RF ont été intégrés à l'analyse. Les conclusions des différents articles ont été comparées et synthétisées. Concernant la présente catégorie, les effets de l'exposition d'animaux de laboratoire relatifs au cancer, à la reproduction et au développement n'ont pas été retenus dans le cadre de l'analyse car ils sont examinés au titre d'une analyse parallèle commandée par le STOA (*Effects on health of fifth generation wireless communication*).

2.5.2. Fréquences basses – invertébrés

S'agissant des études portant sur l'exposition des invertébrés à des gammes de fréquence de CEM RF comprises entre 0,45 et 6 GHz, les sujets d'études ci-après ont été considérés comme de type I: analyses, dosimétrie, suivi sans fil et propriétés diélectriques. Les sujets d'études ci-après sont considérés comme de type II: chauffage diélectrique, études expérimentales et d'observation sur les insectes et études expérimentales sur d'autres invertébrés.

2.5.3. Fréquences basses – plantes et champignons

En ce qui concerne les études portant sur l'exposition des plantes et champignons à des gammes de fréquence de CEM RF comprises entre 0,45 et 6 GHz, les sujets d'études ci-après ont été considérés comme de type I: analyses, dosimétrie, études moléculaires et cellulaires et propriétés diélectriques. Les sujets d'études ci-après sont considérés comme de type II: chauffage diélectrique et études expérimentales et environnementales.

2.5.4. Fréquences hautes – vertébrés

Quant aux études portant sur l'exposition des vertébrés à des gammes de fréquence de CEM RF comprises entre 6 et 300 GHz, les sujets d'études ci-après ont été considérés comme de type I: analyses, dosimétrie, propriétés diélectriques et études ne correspondant à aucun groupe d'effet étudié (autres études). Les sujets d'études ci-après sont considérés comme de type II: études cellulaires et animales.

2.5.5. Fréquences hautes – invertébrés

Concernant les études portant sur l'exposition des invertébrés à des gammes de fréquence de CEM RF comprises entre 6 et 300 GHz, les sujets d'études ci-après ont été considérés comme de type I: analyses, propriétés diélectriques et études ne correspondant à aucun groupe d'effet étudié (autres études). Les sujets d'études ci-après sont considérés comme de type II: chauffage

diélectrique, études expérimentales sur les insectes et les araignées et études sur l'activité neuronale.

2.5.6. Fréquences hautes – plantes et champignons

S'agissant des études portant sur l'exposition des plantes et champignons à des gammes de fréquence de CEM RF comprises entre 6 et 300 GHz, les sujets d'études ci-après ont été considérés comme de type I: analyses, propriétés diélectriques, imagerie et détection à distance. Les sujets d'études ci-après sont considérés comme de type II: champignons unicellulaires et plantes multicellulaires.

3. Résultats

Les résultats de cette section sont présentés conformément aux catégories définies dans la section 2.2, c'est-à-dire une division entre les gammes de fréquences et les groupes taxonomiques.

3.1. Fréquences de télécommunication inférieures

3.1.1. Examen des effets sur les vertébrés

Présentation

Cette section résulte d'une méta-analyse portant sur 45 examens antérieurs s'intéressant à l'exposition des vertébrés non humains aux champs électromagnétiques de radiofréquences (CEM RF), voir Tableau 2. Les études à ce sujet peuvent être subdivisées en trois groupes: les études in vitro ou cellulaires, qui étudient les effets et l'exposition au niveau cellulaire dans un contexte expérimental et/ou en laboratoire, les études in vivo ou sur les animaux, qui étudient l'exposition de l'animal dans son ensemble dans un contexte expérimental et/ou en laboratoire, et les études environnementales, dans lesquelles l'exposition n'est pas générée à des fins expérimentales, mais déjà présente dans l'environnement. Dans le cadre des études cellulaires, les résultats pris en considération sont la génotoxicité, la transformation cellulaire et les effets cellulaires non génotoxiques. Dans les études sur les animaux, les résultats pris en considération sont les suivants: la génotoxicité, les effets cancérigènes, la reproduction et le développement, les effets sur les systèmes nerveux, auditif, endocrinien ou cardiovasculaire, l'immunologie et l'hématologie, les effets sur les yeux, la peau, le comportement et l'échauffement diélectrique de l'animal dans son ensemble. Les examens concernant les effets potentiellement cancérigènes et les effets éventuels sur la reproduction et le développement ne sont pas abordés dans ce document, sauf si ceux-ci traitent également d'autres résultats liés à l'exposition. Les synthèses bibliographiques suivantes ne sont donc pas incluses dans le méta-examen: Baan et al. (2011), Heynick et Merritt (2003), La Vignera et al. (2012) et Vornoli et al. (2019). Les études environnementales s'intéressent, entre autres incidences, aux effets sur la reproduction et le comportement. De tous les résultats liés à l'exposition analysés dans le cadre de cette étude, c'est la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF qui a le plus attiré l'attention dans les différentes synthèses bibliographiques, 17 d'entre elles se concentrant sur la génotoxicité in vitro et seize autres sur la génotoxicité in vivo. Les effets sur la peau et le système endocrinien sont ceux qui ont été les moins examinés.

Certaines des synthèses bibliographiques antérieures ne portaient que sur un nombre limité de résultats potentiels liés à l'exposition aux CEM RF. Celles-ci sont uniquement mentionnées dans les sous-sections correspondantes. D'autres synthèses bibliographiques couvraient toutefois une plus large gamme de résultats potentiels, en en tirant des conclusions plus générales. Celles-ci sont abordées de manière générale ci-dessous et de façon plus détaillée dans les sous-sections correspondantes. Dans cette section, tous les articles sont résumés et indiqués par ordre alphabétique.

Cucurachi et al. (2013) se sont intéressés à 113 études sur l'exposition aux CEM RF des animaux et des plantes. Ils ont analysé les différents effets étudiés par ces articles et en ont conclu que «le développement et la reproduction constituaient les paramètres écologiques les plus étudiés». Selon leur examen, 56 % des études sur les vertébrés ont révélé des effets (indépendamment du paramètre). Ils n'ont cependant relevé aucune relation dose-effet pour les vertébrés.

Habash et al. (2009) ont analysé 45 études sur l'exposition des animaux aux CEM RF (in vitro et in vivo), réalisées entre 2003 et 2007. Ils parviennent à la conclusion que la littérature dans son ensemble ne fournit aucun élément de preuve quant aux effets génotoxiques des CEM RF en faibles quantités mais estiment toutefois que quelques résultats positifs doivent être examinés plus avant.

Ils précisent également que certaines études cellulaires prouvent que l'expression génétique est affectée lors d'expositions aux CEM RF à des niveaux proches des limites de sécurité en 2009, et que ces études doivent faire l'objet d'un suivi. Ils affirment qu'il n'existe généralement que peu de preuves relatives aux effets cellulaires qui sont pertinentes en matière d'effets potentiels sur la santé à des niveaux de RF inférieurs aux limites de sécurité.

Heynick, Johnston et Mason (2003) se sont penchés sur au moins 39 études portant sur la génotoxicité et les effets cancérogènes de l'exposition des vertébrés non humains aux CEM RF.

Marino et al. (2011) ont examiné des études *in vitro* et *in vivo* sur l'exposition aux CEM RF, en vue de déterminer si les jeunes vertébrés étaient davantage sensibles aux potentiels effets provoqués par l'exposition aux CEM RF. Ils ont ainsi analysé 42 études *in vitro*, dont 21 d'entre elles axées sur les vertébrés non humains, et 46 études *in vivo* prenant en considération différents paramètres chez les animaux vertébrés. D'après leurs conclusions, les informations disponibles dans la littérature ne suffisent pas à déterminer si la sensibilité à l'exposition aux CEM RF peut avoir un rapport avec l'âge. Ils jugent également que «le chauffage diélectrique demeure le seul mécanisme d'interaction établi à survenir à cause des radiofréquences». Ils ne se sont toutefois penchés sur aucune étude portant sur le chauffage diélectrique.

Obe (2004) a analysé des articles publiés entre 1990 et 2003, cherchant à vérifier si l'exposition aux CEM RF est susceptible d'endommager le matériel génétique (évaluation de ruptures de brins d'ADN, de l'incidence des aberrations chromosomiques, des micronoyaux et des échanges de chromatides-sœurs) des cellules des vertébrés. Seize de ces études examinées appartiennent à la catégorie dont il est question dans cette section. L'analyse étant limitée aux animaux vertébrés non humains, sept des seize études examinées ont montré des lésions génétiques accrues pour les groupes exposés aux CEM RF. Sept autres n'ont révélé aucune augmentation de ces dommages, et deux des seize études se sont avérées infructueuses.

Panagopoulos et Margaritis (2008) ont examiné un ensemble d'articles étudiant les effets biologiques de l'exposition non thermique des animaux aux CEM RF, y compris les vertébrés. Il ne s'agit toutefois pas d'un examen systématique, mais plutôt d'une liste de certaines références sans critère d'inclusion clairement défini. Panagopoulos, Johansson et Carlo (2015) ainsi que Panagopoulos (2019) ont analysé certains articles portant sur l'exposition des animaux aux CEM RF, y compris les vertébrés, dans le cadre d'une discussion concernant les paramètres et la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF. Les résultats détaillés de ces études ne sont toutefois pas présentés.

Repacholi (1997, 1998) a effectué deux examens, l'un d'eux portant sur le cancer et l'autre sur les effets d'une exposition de faible niveau. Ceux-ci mêlent une méta-analyse à une synthèse bibliographique classique. L'examen axé sur les CEM RF et le cancer porte sur 48 articles, tandis que l'autre également concerne environ 100 articles (dont certains sur des études humaines).

Vecchia (2009) est la plus importante des publications examinées dans cette section et aborde presque tous les thèmes étudiés dans ce domaine. Elle porte sur des publications éditées après 1933 (car un examen antérieur de la même organisation avait déjà été réalisé avant cette date) et se concentre sur 90 études *in vitro* et 155 études sur les animaux dans la gamme de fréquences prise en considération dans la présente section. Elle constitue la meilleure des vues d'ensemble qu'il est possible de trouver dans n'importe quel article. Cependant, ses conclusions ont tendance à être plus critiques envers les études faisant état d'un effet de l'exposition aux CEM RF à des niveaux non thermiques qu'envers celles n'en ayant trouvé aucun.

Tableau 2 – Vue d’ensemble des synthèses bibliographiques sur l’exposition des vertébrés aux CEM RF sur la gamme de fréquences allant de 0,4 à 6 GHz

Études cellulaires			Études sur les animaux										Études environnementales			Nombre d'études	Référence
Génotoxicité	Effets cellulaires non génotoxiques	Transformation des cellules	Génotoxicité	Système nerveux	Système auditif	Système endocrinien	Système cardiovasculaire	Immunologie et hématologie	Peau	Yeux	Comportement	Chauffage diélectrique	Reproduction	Comportement	Autres effets		
																> 60	Adair et Black, 2003
																< 20	Balmori, Castilla et Cortejoso, 2006
																< 20	Balmori, 2009
																< 20	Balmori, 2014
																< 20	Balmori, 2015
																12	Banik, Bandyopadhyay et Ganguly, 2003
																> 100	Brusick et al., 1998
																55	Cotgreave, 2005
																113	Cucurachi et al., 2013
																11	Deepinder, Makker et Agarwal, 2007
																45	Elder, 2003
																s.o.	Foster et Morrissey, 2011
																6	Goodman, Greenebaum et Marron, 1995
																6	Gordon et al., 1963
																45	Habash et al., 2009
																39	Heynick, Johnston et Mason, 2003
																> 100	Hossmann et Hermann, 2003
																> 100	CIRC, 2013
																s.o.	CNIRP, 2020
																70	Lai et al., 1987a
																85	Lin, 2004
																> 160	Manna et Ghosh, 2016
																16	Obe, 2004
																25	Panagopoulos et Margaritis, 2008
																70	Marino et al., 2011
																86	Nittby et al., 2008
																48	Repacholi, 1997
																> 100	Repacholi, 1998
																22	Repacholi et al., 2012
																> 100	CSRSN, 2015
																16	Sienkiewicz, Jones et Bottomley, 2005
																245	Vecchia, 2009
																42	Verschaeve et Maes, 1998
																45	Verschaeve et al., 2010
																32	Verschaeve, 2014
																225	Vijayalaxmi et Prihoda, 2018

																	12	Yu et Yao, 2010
																	29	Ziskin et Morrissey, 2011
17	12	8	16	14	6	2	4	4	1	3	6	7	4	5	3	Total des examens sur les résultats		

Études cellulaires

Génotoxicité

Brusick et al. (1998) ont examiné plus de 100 études sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF sur la gamme de fréquences allant de 0,8 à 3 GHz. Ils en concluent qu'il n'existe aucune preuve directe des effets mutagènes de l'exposition aux CEM RF. Ils soulignent toutefois la présence potentielle de certains effets discrets et indirects sur la reproduction et/ou la transcription des gènes dans certaines conditions d'exposition.

Deepinder, Makker et Agarwal (2007) citent une étude faisant état de dommages au niveau du génome mitochondrial et nucléaire dans les spermatozoïdes épididymaires de souris exposées aux CEM RF.

Habash et al. (2009) ont examiné treize études sur les effets génotoxiques de l'exposition aux CEM RF, réalisées entre 2003 et 2007. Ils en ont conclu qu'au moment de leur étude (en 2009), il était encore fait état de façon continue des potentiels effets génotoxiques des champs RF. Selon eux, la majeure partie de ces données scientifiques ne suggère cependant pas qu'une exposition aux champs RF de faible niveau provoque des dommages génotoxiques. Ils recommandent de poursuivre les recherches dans cette direction.

Heynick, Johnston et Mason (2003) ont analysé onze études portant sur la génotoxicité dans les cultures cellulaires chez les vertébrés non humains exposés aux CEM RF dans la gamme de fréquences ciblée. La quasi-totalité d'entre elles n'ont pas montré d'effet significatif par rapport à une exposition fictive. Les quelques études faisant état d'un effet ne mettaient en évidence aucune relation dose-effet ou étaient critiquées pour leurs facteurs de confusion sans lien avec l'exposition aux CEM RF, qui influençaient le résultat des expériences.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC, 2013) a analysé un ensemble d'études in vitro sur des cellules non humaines impliquant des expositions à court terme, mais à forte intensité. Les résultats de celles-ci étaient systématiquement positifs en ce qui concerne l'altération de l'ADN. D'après les auteurs, ceci est très certainement dû à des effets thermiques. Certaines études faisaient état d'effets mais démontraient une absence d'effets dans le sous-ensemble d'études examinées (considérées comme appartenant à la gamme non thermique). Les auteurs ont exprimé leurs inquiétudes concernant certaines études in vitro présentant des ruptures d'ADN simple brin. Cependant, ils ont aussi précisé que certaines des études comprises dans leur analyse ne pouvaient être reproduites. Dans le cadre de leur examen, une étude jugée préoccupante présentait une altération des structures microtubulaires à de faibles niveaux d'exposition. Les auteurs ont conclu de leur analyse qu'il n'existait que de faibles preuves de la génotoxicité des CEM RF.

Manna et Ghosh (2016) ont étudié des articles sur la génotoxicité in vitro des CEM RF sur les cellules des vertébrés non humains et humains. Leur analyse a révélé des preuves allant dans les deux sens. Ils se sont également intéressés à des études portant sur la génotoxicité des CEM RF en association avec un autre agent. Les résultats de celles-ci se sont également avérés contradictoires.

Marino et al. (2011) ont examiné treize études cellulaires sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF (chez les vertébrés humains et non humains); la plupart d'entre elles ne faisaient état d'aucun effet lié à l'exposition.

Obe (2004) a analysé des articles sur la génotoxicité des CEM RF (voir section sur la génotoxicité et les études sur les animaux). La plupart d'entre elles (dix sur seize) étaient des études sur les animaux. Pour les études cellulaires, la majorité des études examinées (quatre sur six) n'indiquaient aucune augmentation de l'altération de l'ADN au niveau des cellules exposées.

Panagopoulos et Margaritis (2008) rendent compte de deux études axées sur la génotoxicité in vitro de l'exposition aux CEM RF. Aucune de ces deux études ne fait état d'un quelconque effet.

Repacholi (1997) s'est intéressé à des études sur la génotoxicité in vitro et en a conclu que la plupart d'entre elles n'indiquaient aucun effet. Il est parvenu à la même conclusion dans sa publication de 1998, à l'issue de son deuxième examen portant sur les CEM RF de faible niveau. La majorité des études in vitro analysées par l'auteur n'ont révélé aucun effet génotoxique. Dans le cas des études ayant enregistré des effets, les augmentations de température ou les effets secondaires peuvent en être les causes sous-jacentes.

Le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN, 2015) affirme que la précédente analyse sur la génotoxicité in vitro avait donné des résultats peu concluants et qu'aucune relation dose-effet n'avait été démontrée. Les auteurs se sont penchés sur 31 études supplémentaires concernant la génotoxicité in vitro, dont sept axées sur les vertébrés non humains. Quatre de ces sept études présentaient des effets génotoxiques.

Vecchia (2009) examine sept analyses antérieures (datant d'avant 2003) sur la génotoxicité in vitro des CEM RF. Il ressort de ces analyses que les CEM RF ne sont pas directement mutagènes et qu'ils ne renforcent probablement pas la génotoxicité d'autres agents dans le cadre d'expositions combinées. Les auteurs ont examiné onze études in vitro sur la génotoxicité de la seule exposition aux CEM RF, en utilisant l'électrophorèse de cellules isolées. Cinq des onze études ont révélé un effet de l'exposition aux CEM RF (cellules de vertébrés non humains dans la gamme de fréquences ciblée). Ils se sont intéressés à neuf études in vitro sur l'exposition simultanée aux CEM RF et à d'autres agents. Dans deux de ces neuf études, l'effet des CEM RF augmentait lors de la combinaison avec un autre agent. Dans une autre étude, la seule exposition aux CEM RF démontrait un effet. Les auteurs en concluent que la plupart des études comprises dans leur analyse, incluant également des cellules humaines, n'apportent aucune preuve de la génotoxicité in vitro des CEM RF à des niveaux non thermiques et qu'aucun effet supplémentaire dû à l'exposition simultanée à d'autres agents n'est à déplorer. Ils recommandent toutefois d'entreprendre davantage de recherches pour clarifier certains des effets positifs observés. Ils soulignent que toutes les études ne se sont pas avérées négatives.

Verschaeve et Maes (1998) se sont penchés sur neuf études in vitro sur la génotoxicité chez les vertébrés non humains. Dans quatre de ces études, seule la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF était observée, et trois d'entre elles ont démontré des effets. Cinq autres études étaient quant à elles axées sur l'exposition aux CEM RF en combinaison avec un autre agent. Aucune de ces études n'a montré d'effet supplémentaire des CEM RF en complément des effets d'autres agents. Verschaeve et al. (2010) ont réalisé une deuxième analyse dans le cadre de laquelle ils ont examiné cinq études cytogénétiques in vitro portant sur la génotoxicité des CEM RF dans les cellules des vertébrés non humains. Ces études n'ont révélé aucun effet génotoxique. L'une de ces études a démontré un effet sur la cinétique cellulaire. Les auteurs se sont également intéressés aux lignées cellulaires humaines et en ont conclu que l'exposition aux CEM RF n'entraînait aucune lésion cytogénétique, et encore moins à des niveaux d'exposition non thermiques. Ils ont également analysé quatre études in vitro sur l'altération de l'ADN causée par les CEM RF au niveau des cellules des vertébrés non humains. Deux de ces quatre études ont révélé des altérations de l'ADN. Les auteurs attribuent ces résultats à un effet thermique et à des problèmes potentiels liés respectivement à l'analyse des données. Ils ont examiné une étude sur les cellules de hamster portant sur l'histone phosphorylée γ -H2AX en tant que mesure de l'altération de l'ADN causée par les CEM RF. L'étude a révélé un effet à certains niveaux de débit d'absorption spécifique (DAS), mais aucun effet sur d'autres niveaux. Ils se sont intéressés à six études in vitro sur les expositions simultanées aux CEM RF et à des agents mutagènes chimiques et/ou physiques. Quatre de ces six études ont révélé des effets de l'exposition simultanée. Une autre a démontré un effet de la seule exposition aux CEM RF.

Vijayalaxmi et Prihoda (2018) ont analysé 225 études in vitro et in vivo sur les effets génotoxiques de l'exposition aux CEM RF sur les cellules de mammifères. Ils en ont conclu que les données disponibles étaient incohérentes. Certaines études ont révélé des effets, alors que d'autres non. Ils

ont également effectué une méta-analyse dans laquelle ils évaluent les effets mis en évidence dans la littérature à l'aide de mesures de contrôle qualité. La pondération des résultats n'indiquait qu'un infime effet. Ils ont trouvé une corrélation entre la qualité des études et le signalement de l'absence d'effet, ainsi qu'une corrélation inverse pour les études faisant état d'une augmentation des lésions génétiques. Ils soulignent également la partialité de leur publication à l'égard des études ayant révélé une augmentation de ces lésions génétiques.

Transformation des cellules

Habash et al. (2009) ont analysé dix études sur les vertébrés non humains portant sur les altérations des fonctions cellulaires. Ils n'ont trouvé aucune preuve de l'effet des CEM RF sur l'évolution et la prolifération du cycle cellulaire ou l'activité de l'ornithine décarboxylase (ODC) ni aucune preuve de l'effet des CEM RF sur l'apparition de l'apoptose cellulaire.

Le groupe de travail du CIRC sur l'évaluation des risques cancérigènes pour l'homme, l'Organisation mondiale de la santé et le Centre international de recherche sur le cancer (2013) ont examiné des études *in vitro* axées sur l'apoptose induite par les RF. Aucune de ces études n'a révélé d'effet, sauf une. Les auteurs affirment également que les éléments prouvant que les CEM RF altèrent la réplication cellulaire sont considérés comme peu probants (mais il est difficile de savoir si ceci s'applique à tous les vertébrés ou uniquement aux humains).

Manna et Ghosh (2016) ont examiné un ensemble d'articles sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur le profil de morphologie, de prolifération et de croissance cellulaire. Ils ne tirent aucune conclusion claire de cette analyse. Ils se sont également intéressés à des études portant sur les effets de mortalité cellulaire et d'interruption du cycle cellulaire induits par l'exposition aux CEM RF, sans en tirer aucune conclusion.

Marino et al. (2011) sont revenus sur trois études indiquant que la transformation spontanée des cellules néoplasiques des cellules embryonnaires de rongeurs n'était pas affectée par l'exposition aux CEM RF. Ils abordent également la question de huit études n'ayant révélé aucun effet d'apoptose en cas d'exposition aux CEM RF. Deux études sur la différenciation cellulaire examinées par les auteurs ont donné des résultats contrastés. L'un des articles ne révélait aucun effet de différenciation cellulaire chez la souris en cas d'exposition aux CEM RF, alors que l'autre faisait état d'un trouble de la différenciation des cellules rétiniennes chez les embryons de poulet.

Le CSRSN (2015) s'est intéressé à six études *in vitro* sur l'apoptose des cellules de vertébrés non humains induite par les CEM RF, réalisées entre 2009 et 2015. La moitié de ces études révélaient bien une induction de l'apoptose. Il a également examiné sept études *in vitro* portant sur les effets des CEM RF sur la prolifération et le cycle cellulaire. Trois de ces sept études ont révélé un effet, contrairement aux quatre autres.

Vecchia (2009) s'est penché sur quatorze études portant l'effet potentiel de l'exposition aux CEM RF sur la prolifération et la différenciation cellulaire, ainsi que sur la régulation du cycle cellulaire. Neuf de ces quatorze études ont révélé un effet de l'exposition aux CEM RF dans au moins l'une des configurations étudiées. L'une d'elles faisait également état d'un effet lié à l'exposition simultanée à d'autres agents. Il s'est aussi intéressé à au moins trois études portant sur la génotoxicité et les effets cancérigènes de l'exposition des vertébrés non humains aux CEM RF. Une de ces trois études a révélé un effet sur l'expression génétique lié à l'apoptose. Les auteurs en ont toutefois conclu que l'exposition aux CEM RF n'avait aucun effet sur la prolifération cellulaire, la régulation du cycle cellulaire ou l'apoptose des cellules. Sept études supplémentaires portant sur la transformation cellulaire ont été examinées. Trois de ces études ont révélé un effet de l'exposition simultanée aux CEM RF et à un agent promoteur sur la transformation cellulaire. Les auteurs ont conclu que l'exposition aux CEM RF n'avait aucun effet sur la transformation cellulaire.

Verschaeve et Maes (1998) ont analysé deux études portant sur la transformation et le cycle cellulaire. Ces deux études révélaient un effet de l'exposition aux CEM RF.

Effets cellulaires non génotoxiques

Banik, Bandyopadhyay et Ganguly (2003) se sont intéressés à une étude révélant une modification de la perméabilité de la membrane des globules rouges de lapins exposés à des CEM RF.

Cotgreave (2005) a analysé 55 études axées sur l'exposition aux CEM RF et sa potentielle influence sur la production de protéines de choc thermique (PCT) ou le stress cellulaire chez les vertébrés (y compris chez les humains). L'analyse des auteurs couvrait également des études sur d'autres modifications potentielles de l'expression génétique liées à l'exposition aux CEM RF. Ils en ont conclu que certaines études *in vitro* indiquaient que l'exposition aux CEM RF était susceptible d'induire l'expression de PCT dans un grand nombre de systèmes cellulaires. Il a également été démontré que la modulation a un effet sur cette expression. Les études *in vitro* ont toutefois révélé des incohérences au niveau des modèles d'exposition, des types de cellules utilisés et de la reproductibilité indépendante des résultats. Les auteurs ne sont pas sûrs que ces effets puissent être considérés comme non thermiques. Ces mêmes effets n'ont en effet pas été établis dans le cadre d'études *in vivo* (résultats contradictoires).

Goodman, Greenebaum et Marron (1995) font état de changements au niveau de l'efflux de Ca^{2+} , causés par l'exposition modulée de différents types de cellules aux CEM RF. Ils se sont intéressés à une étude présentant une diminution de l'activité de la protéine kinase C dans les lymphocytes en cas d'exposition aux CEM RF à 450 MHz.

Habash et al. (2009) se sont intéressés à cinq études sur les modifications de l'expression génétiques liées à l'exposition des vertébrés non humains aux CEM RF. Les principales hypothèses des études concernaient les CEM RF et leur potentielle influence sur l'expression des PCT et des gènes précoces immédiats (GPI). L'une des études examinées a révélé un effet sur l'expression génétique, une autre s'est avérée infructueuse, et les trois études restantes n'ont fait état d'aucun effet. La littérature analysée n'a pas permis de prouver que les CEM RF étaient susceptibles de modifier les PCT ou de provoquer une réaction de stress cellulaire à de faibles niveaux.

Hossmann et Hermann (2003) ont analysé des études sur les effets *in vitro* de l'exposition aux CEM RF sur les neurones. Leur analyse montre qu'avec des valeurs de DAS élevées (DAS = 6,8-100 W/kg), les neurones isolés réagissent aux CEM RF continus et pulsés. Ils en concluent que la fréquence de modulation avait une influence sur ces effets *in vitro*. Ils attribuent ces effets à un mécanisme thermique. L'une des études examinées portait sur l'efflux de Ca^{2+} au niveau des neurones en cas d'exposition aux CEM RF. Leur analyse s'intéressait également à l'expression génétique chez les rongeurs; elle a révélé que l'exposition aiguë des rats à de faibles CEM RF n'activait pas les PCT.

Le CIRC (2013) a analysé près de 30 études sur l'expression génétique et les changements protéiques chez les rongeurs exposés aux CEM RF. Il précise que certaines études étaient de mauvaise qualité et que, pour les études jugées satisfaisantes du point de vue de la qualité, les résultats étaient contrastés. Cette même analyse portait également sur un ensemble d'études *in vivo* concernant l'exposition aux CEM RF et son incidence sur la production d'espèce réactive de l'oxygène (ERO). Les conclusions du CIRC sont les suivantes: «Il existe peu de preuves selon lesquelles l'exposition aux rayonnements RF affecte le stress oxydatif et modifie les niveaux d'ERO».

Manna et Ghosh (2016) ont examiné une série d'études portant sur la signalisation des PCT et les modifications d'expression génétique potentiellement causées par les CEM RF. Ils n'ont tiré aucune conclusion claire. Ils se sont également intéressés à la production d'ERO liée à l'exposition aux CEM RF au niveau cellulaire et ont trouvé des études avec des résultats contrastés.

Marino et al. (2011) ont analysé quinze études (notamment sur les cellules humaines) axées sur l'expression génétique et protéique en cas d'exposition aux CEM RF. Neuf de ces quinze études n'ont révélé aucun effet de l'exposition aux CEM RF. Ils ont également examiné une étude sur la formation d'ERO dans les cellules des rongeurs, qui n'a démontré aucun effet. Les auteurs font aussi référence à un article présentant un effet sur l'activité de l'enzyme ornithine décarboxylase (ODC) dans les cellules des souris exposées. Ils ont examiné huit études sur les effets de l'exposition simultanée aux CEM RF et à d'autres agents sur une variété de résultats. Trois de ces huit études ont révélé un effet.

Repacholi (1998) fait état d'une série d'effets sur la membrane cellulaire. L'auteur indique que plusieurs études ont révélé que les CEM RF influençaient la formation de canaux ioniques, les changements de la fréquence d'ouverture des canaux et l'augmentation de la cadence de chauffage desdits canaux. Aucun mécanisme n'est fourni, et il est difficile de savoir si ces effets entraînent également d'autres effets sur la santé. Les auteurs indiquent également certains changements au niveau des enzymes intervenant dans la signalisation sur la membrane en cas d'exposition aux CEM RF.

Le CSRSEN (2015) a examiné quatre études axées sur l'exposition aux RF et la modification du degré d'oxydation des cellules des vertébrés non humains. Ces expériences mesuraient pour la plupart la formation d'ERO en cas d'exposition aux CEM RF. Dans toutes les études examinées (4/4), une augmentation de la formation d'ERO était signalée en cas d'exposition aux CEM RF. L'une des études in vitro sur les cellules de vertébrés non humains examinées a révélé des modifications au niveau de l'expression protéique en cas d'exposition aux CEM RF.

Vecchia (2009) a examiné six études portant sur l'effet de l'exposition aux CEM RF sur le métabolisme des ions calcium (Ca^{2+} , signalisation du calcium) et l'activité liée au canal ionique. Une seule de ces six études a révélé un effet sur le nombre de pics de Ca^{2+} . Trois des études examinées portaient sur la signalisation du monoxyde d'azote en rapport avec l'exposition aux CEM RF (à 10 MHz). Ces trois études ont révélé des effets liés à l'exposition, mais les auteurs critiquent la dosimétrie utilisée. Une étude a révélé un effet de la communication intercellulaire des jonctions lacunaires chez les lapins et deux études ont révélé un effet de l'exposition aux CEM RF sur les molécules réceptrices de la membrane cellulaire. Deux des études examinées portaient sur l'expression de gènes particuliers (c-fos et c-jun). Ces études ont révélé un effet de l'exposition aux CEM RF, l'une sur le gène c-fos et l'autre sur le gène c-jun. L'une des publications examinées portait sur l'étude transcriptomique de cellules non humaines. Cette étude n'a révélé aucun effet de l'exposition aux CEM RF. Trois des études examinées étaient axées sur un effet potentiel de l'exposition aux CEM RF sur la production d'ERO et le stress oxydatif. Aucune de ces études n'a révélé d'effet. Les auteurs en ont conclu que les preuves des effets sur la signalisation du calcium et du monoxyde d'azote n'étaient que très limitées. Ils n'ont tiré aucune conclusion liée à des effets sur les jonctions lacunaires des cellules ou les récepteurs de la membrane cellulaire. Ils ont également estimé qu'au moment de leur analyse, les recherches n'étaient pas suffisantes pour permettre de tirer des conclusions définitives sur l'expression génétique et l'exposition aux CEM RF. Ils en ont conclu que l'exposition aux CEM RF n'avait aucun effet sur la production d'ERO.

Verschaeve et Maes (1998) ont analysé deux études portant sur les effets cellulaires liés au cancer. Ces deux études faisaient état d'un effet aux niveaux intracellulaires de l'ODC, une enzyme habituellement impliquée dans la promotion de tumeurs.

Études sur les animaux

Chauffage diélectrique

Adair et Black (2003) présentent une analyse approfondie des effets du chauffage par CEM RF et de l'augmentation de la température corporelle de plusieurs vertébrés. Ils affirment que, pour toute espèce donnée, et quelles que soient les conditions de l'environnement, il est possible de

déterminer l'intensité de la densité de puissance incidente des CEM RF (valeur seuil) susceptible d'amorcer, de manière fiable, une réaction thermorégulatrice. Ils examinent une série d'études qui déterminent ces valeurs seuil pour des primates non humains et des vertébrés plus petits (animaux de laboratoire tels que les souris, les rats ou les lapins) et portent sur les réactions thermorégulatrices de ces animaux (transpiration, mouvement, modifications respiratoires ou cardiovasculaires, etc.). Ils présentent également une analyse des modifications de la production de chaleur métabolique liées au DAS supplémentaire. Ils examinent les réactions de plusieurs animaux vertébrés à l'exposition prolongée aux CEM RF à des niveaux thermiques ou à l'exposition courte (mais intense) aux CEM RF, toujours à des niveaux thermiques. Quelques études examinées portaient sur l'effet du chauffage thermique à l'aide des CEM RF sur le développement initial des vertébrés. Ces études ont démontré que le profil thermorégulateur (et peut-être aussi la réaction métabolique) dépendait de l'âge et/ou de la phase de développement. Certains résultats étaient contrastés en ce qui concerne le taux de croissance des vertébrés exposés à des CEM RF thermiques durant leur développement. Ils ont examiné trois études portant sur l'exposition à long terme (chronique) aux CEM RF à des niveaux thermiques, avec quelques effets déclarés sur la masse corporelle et l'absorption d'oxygène. Pour finir, ils se sont intéressés à plusieurs études sur l'interaction entre l'exposition aux CEM RF et certains médicaments.

Foster et Morrissey (2011) ont fait état de troubles du comportement chez les animaux pour lesquels l'exposition de l'ensemble du corps correspond à 4 W/kg, exposition à son tour associée à une augmentation de 1 °C de la température corporelle centrale. Ils ont également synthétisé une analyse sur la relation entre le DAS de l'ensemble du corps et la température corporelle centrale.

Gordon et al. (1963) aborde le sujet du chauffage diélectrique, de l'augmentation de la température chez les animaux exposés aux CEM RF à 10 mW/cm² et de la réduction de l'endurance des animaux exposés à 10-40 mW/cm² (test de nage).

Lin (2004) a listé un ensemble d'études sur les configurations d'antenne pouvant être utilisées pour traiter l'hyperthermie chez les animaux, ainsi qu'une deuxième série de publications axées sur l'ablation par CEM RF dans le cadre de chirurgies cardiaques sur les chiens.

Banik, Bandyopadhyay et Ganguly (2003) listent un ensemble d'études présentant le chauffage diélectrique de matières biologiques (comprenant les vertébrés) en cas d'exposition aux CEM RF.

Vecchia (2009) a examiné trois études sur les réactions thermorégulatrices chez les animaux de laboratoire exposés aux CEM RF. Ces études ont toutes révélé des effets sur la production de chaleur métabolique, la fréquence cardiaque et la tension artérielle. La température corporelle centrale a augmenté de 1 °C dans deux des trois études. Les auteurs estiment que ces changements sont en adéquation avec les modifications thermorégulatrices attendues pour ce qui est du chauffage de l'ensemble du corps. Ces effets sont indépendants de la méthode de chauffage.

Ziskin et Morrissey (2011) ont analysé 19 études axées sur les effets thermiques sur le développement. Toutes les études n'étaient pas axées sur l'hyperthermie causée par l'exposition aux CEM RF. Ils se sont intéressés à la relation entre la température centrale du corps maternel et les troubles du développement. Ils ont découvert que des augmentations de plus de 2 °C au-dessus de la normale sur une longue période, de 2 à 2,5 °C au-dessus de la normale sur 30 min/1 h ou de 4 °C au-dessus de la normale sur 15 min engendraient des troubles du développement chez les animaux testés. Ils font référence aux valeurs de DAS de plus de 15 W/kg nécessaires pour atteindre de telles augmentations de la température corporelle centrale, avec des DAS supérieurs à 4 W/kg correspondant à une augmentation d'au moins 1 °C. Des effets indirects liés à la réduction du débit sanguin entre la mère et le fœtus peuvent être observés à des DAS plus faibles, mais les auteurs recommandent de ne pas dépasser la limite conservatrice de 1,5 W/kg. Ils fournissent également un seuil pour le DAS localisé au niveau du fœtus. Ils mentionnent aussi trois études sur l'exposition des animaux vertébrés aux CEM RF et ses potentiels effets sur le développement (réalisées entre 2003

et 2010), sans toutefois en présenter les résultats. Ils affirment que les résultats de ces études ne vont pas à l'encontre des précédentes analyses sur ce sujet. Ils se sont en outre intéressés à sept études (réalisées entre 2004 et 2010) axées sur les effets des CEM RF sur la fertilité de différents animaux de laboratoire. Quatre de ces sept études révélaient un effet sur la fertilité. Les auteurs sont toutefois critiques quant à la qualité de ces études.

Génotoxicité

Certaines synthèses bibliographiques sur la génotoxicité ne précisent pas si les articles analysés concernaient des études sur les animaux ou des études cellulaires. Ces articles de synthèse ne sont abordés que dans l'une des deux sections portant sur la génotoxicité. Dans d'autres analyses, l'examen est explicitement divisé en deux parties (ou ne porte que sur un seul type d'études); celles-ci sont mentionnées dans les sections correspondantes.

Brusick et al. (1998) ont examiné plus de 100 études sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF (voir section sur les études cellulaires).

Deepinder, Makker et Agarwal (2007) évoquent une étude faisant état de dommages au niveau du génome mitochondrial et nucléaire dans les spermatozoïdes épididymaires de souris exposées aux CEM RF. Ils ont également examiné cinq études sur le stress oxydatif causé par l'exposition aux CEM RF, et en ont conclu que la question de savoir si les CEM RF pouvaient entraîner un stress oxydatif était sujette à discussion.

Habash et al. (2009) ont examiné des études réalisées entre 2003 et 2007 sur les effets génotoxiques de l'exposition aux CEM RF. Leur analyse comprenait des études cellulaires et des études sur les animaux (voir section sur les études cellulaires).

Heynick, Johnston et Mason (2003) ont examiné huit études sur la génotoxicité de l'exposition in vivo aux CEM RF. Ces études analysaient les ruptures d'ADN simple et double brin au moyen d'examens menés sur certaines parties du cerveau. Celles-ci ont révélé des différences considérables en ce qui concerne la longueur moyenne de migration des examens pour certaines conditions d'exposition aux CEM RF par rapport au groupe de simulation, mais aucune différence pour d'autres conditions d'exposition. L'analyse et la dosimétrie de ces examens ont en outre été critiquées dans la littérature à comité de lecture.

Hossmann et Hermann (2003) ont examiné quatre études sur la génotoxicité des CEM RF, avec des résultats contradictoires.

Le groupe de travail du CIRC sur l'évaluation des risques cancérigènes pour l'homme, l'Organisation mondiale de la santé et le Centre international de recherche sur le cancer (2013) se sont intéressés à une série d'études in vivo sur la génotoxicité de l'exposition des animaux aux CEM RF. Ils ont cependant restreint leur examen aux études pour lesquelles ils considéraient que l'absence de confusion thermique était prouvée et qui proposaient un rapport clair sur les conditions d'exposition et des tailles d'échantillon suffisantes. Près de la moitié des études qu'ils ont trouvées appartenaient à cette catégorie. Les études restantes présentaient des résultats contradictoires.

Marino et al. (2011) ont examiné trois études in vivo sur la génotoxicité. Une de ces trois études a révélé un effet, contrairement aux deux autres.

Obe (2004) a analysé des articles sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF pour les vertébrés. Dix des études examinées portaient sur les animaux. Trois des dix études examinées n'ont montré aucune augmentation des dommages pour les groupes exposés aux CEM RF. Cinq autres ont toutefois révélé une augmentation de ces dommages, et deux des dix études se sont avérées infructueuses.

Panagopoulos et Margaritis (2008) ont analysé cinq études présentant des effets génotoxiques liés à l'exposition (chronique) aux CEM RF et six études ne révélant aucun effet génotoxique.

Repacholi (1997) examine deux études sur les rongeurs présentant des effets génotoxiques. Repacholi (1998) affirme que plusieurs (trois) études sur les rongeurs prouvent que les champs RF peuvent avoir une influence directe sur l'ADN. Repacholi et al. (2012) analysent dix études in vivo sur la génotoxicité, toutes effectuées après 2000. Huit de ces dix études présentent des défauts de conception ou de dosimétrie. Les deux articles respectant tous les critères de qualité n'ont révélé aucun effet génotoxique.

Le CSRSEN (2015) a examiné cinq études in vivo sur la génotoxicité et en a conclu qu'il n'existait aucune preuve concernant de tels effets, mais qu'une meilleure dosimétrie était nécessaire dans les études de ce genre.

Vecchia (2009) a examiné 26 études portant sur la génotoxicité in vivo de l'exposition simultanée aux CEM RF et à un autre agent. Onze de ces études ont révélé un effet génotoxique (l'une d'entre elles dans le cadre d'une exposition simultanée à un autre agent). Les auteurs ont néanmoins conclu que la plupart de ces études in vivo n'étaient pas parvenues à démontrer de manière convaincante un quelconque effet génétique direct après l'exposition de mammifères de laboratoire à des rayonnements RF.

Verschaeve et Maes (1998) se sont penchés sur sept études in vivo portant sur la génotoxicité des CEM RF pour les vertébrés. Quatre d'entre elles ont révélé des effets, et trois n'en ont révélé aucun. Verschaeve et al. (2010) ont examiné 29 études in vivo réalisées sur des mammifères de laboratoire et axées sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF ou d'une exposition simultanée aux CEM RF et à un autre agent. Selon eux, «nombreuses sont les études publiées jusqu'à maintenant qui ne sont pas parvenues à démontrer de manière convaincante une altération directe de l'ADN après une exposition aiguë ou chronique aux rayonnements RF». Ils font également allusion à cinq références. Ils mentionnent ensuite six études ayant démontré que les CEM RF pouvaient altérer l'ADN in vivo. D'après un tableau récapitulatif, treize de ces 29 études ont révélé des effets de l'exposition aux CEM RF. Les auteurs précisent que les études ayant révélé des effets présentent des problèmes de réplication.

Systemes nerveux et auditif

Foster et Morrissey (2011) ont résumé deux analyses sur l'effet du chauffage par CEM RF sur le système nerveux. L'une de ces analyses met en avant une augmentation comprise entre 0,5 et 5 °C de la température au niveau de la barrière hémato-encéphalique (BHE), provoquée par les CEM RF et pouvant entraîner une modification de la perméabilité. La seconde analyse concerne le chauffage par CEM RF du cerveau et les températures susceptibles de provoquer des lésions à ce niveau.

Gordon et al. (1963) décrivent une diminution de la sensibilité aux stimulations acoustiques des animaux exposés à 3 GHz de CEM RF. Habash et al. (2009) ont examiné six études réalisées entre 2004 et 2007 et axées sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur la BHE chez les rongeurs. Toutes ces études étaient basées sur l'administration de doses de CEM RF ≤ 6 W/kg, et aucune d'elles n'a révélé le moindre effet sur la BHE.

Hossmann et Hermann (2003) ont examiné un ensemble d'études révélant des changements dans les schémas électroencéphalographiques (EEG) des rongeurs et des lapins exposés aux CEM RF. Un deuxième ensemble d'études a révélé des changements métaboliques au niveau du cerveau de rongeurs exposés à un haut niveau de CEM RF. Les auteurs listent également une série d'études démontrant une réaction auditive chez les animaux, également appelée «audition de micro-ondes». Ils analysent aussi des études portant sur la prévalence des molécules associées à la neurotransmission dans le cerveau en cas d'exposition aux CEM RF. Les seuls effets marqués correspondent à l'exposition à des fréquences extrêmement basses (et non aux RF). Pour finir, ils présentent l'analyse d'un ensemble d'études axées sur la BHE en cas d'exposition aux CEM RF. Quoiqu'infructueuse, leur analyse comporte des preuves indiquant que la perméabilité de la BHE augmente (de façon réversible) à de hauts niveaux de DAS dans certaines études.

Le CIRC (2013) a examiné un ensemble d'études portant sur la perméabilité de la BHE en cas d'exposition aux CEM RF. Les auteurs ont découvert qu'un laboratoire indiquait systématiquement une augmentation de la perméabilité de la BHE. La majorité des études présentes dans l'analyse n'ont toutefois observé aucun effet. Ils considèrent donc que les preuves indiquant que l'exposition aux rayonnements RF altère la BHE restent faibles.

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI, 2020) fait état d'études sur les rongeurs et les primates non humains montrant une réduction des performances de la mémoire renforcées par l'alimentation en cas d'exposition aux CEM RF avec un DAS moyen élevé au niveau de tout l'organisme (augmentation de la température corporelle centrale de 1 °C). Les auteurs apparentent ce phénomène à un effet thermique.

Lai et al. (1987b) ont examiné un ensemble de 70 études portant sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur le système nerveux et comparé ceux-ci aux effets des substances psychoactives. Ils ont également analysé les effets des médicaments sur l'hyperthermie provoquée par des RF et l'influence de l'exposition aux CEM RF sur les effets de certains de ces médicaments. Ils ont mis en évidence la différence entre l'administration de médicaments, où ceux-ci sont disséminés uniformément dans tout le corps, et l'exposition aux CEM RF, qui répond à des schémas d'absorption liés à la morphologie et à la fréquence. Leur analyse a révélé que l'exposition aux CEM RF avait une certaine influence sur l'effet des barbituriques sur les rongeurs et les lapins. Certains des médicaments recensés neutralisaient l'hyperthermie et les convulsions provoquées par l'exposition aux CEM RF. Un certain nombre d'autres interactions médicamenteuses ont également été signalées. Les auteurs font état de l'absence d'effet d'une exposition de faible intensité aux CEM RF sur la BHE, mais déclarent que des intensités plus élevées peuvent modifier la perméabilité de la BHE et le débit sanguin cérébral. Ils font également état de la possibilité d'une altération de la fonction sensorielle en cas d'exposition aux CEM RF. Ils dressent la liste de quelques études axées sur l'effet de l'exposition aux CEM RF sur l'activité des neurotransmetteurs, sans pour autant conclure à un quelconque effet. Les auteurs listent également un ensemble d'études portant sur l'effet de l'exposition aux CEM RF sur le système cholinergique. Pour finir, ils examinent plusieurs études sur la participation des opiacés endogènes à la réaction des vertébrés exposés aux CEM RF. Ils en concluent que ces opioïdes jouent un rôle dans les effets de l'exposition aux CEM RF.

Lin (2004) a examiné un ensemble d'études sur les modifications de la BHE des rats en cas d'exposition aux CEM RF. Il déclare qu'il existe plusieurs études présentant ou non un changement au niveau de la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique du rat en cas d'exposition aux CEM RF, à des niveaux faibles ou forts. L'auteur attribue ces résultats contrastés au manque de dosimétrie correcte en matière de DAS du cerveau. Une exposition partielle du cerveau a été suggérée en tant que solution à ce problème et utilisée pour prouver que les effets de l'exposition aux CEM RF sur les changements de perméabilité de la barrière sont bien liés à la dose. Lin (2004) fait également état d'une série d'études démontrant un phénomène d'audition de micro-ondes avec des CEM RF pulsés à un niveau élevé. Ces études montrent que les impulsions des CEM RF et les impulsions acoustiques effectuent le même trajet au sein du système nerveux auditif central et qu'un déplacement mécanique est à l'origine de cet effet.

Marino et al. (2011) ont analysé un ensemble d'articles étudiant les effets de l'exposition aux CEM RF sur la structure du cerveau, la fonction cérébrale et la barrière hémato-encéphalique. Ils ont trouvé des résultats contrastés dans les études des effets sur la structure et la fonction cérébrale. Ils n'ont toutefois trouvé aucune preuve indiquant un lien entre l'exposition et une quelconque lésion neuronale dans les cerveaux en développement. Ils en concluent qu'il n'existe aucune preuve solide des changements de perméabilité au niveau de la BHE. Dans leurs conclusions, ils insistent toutefois sur une étude démontrant des pertes de cellules liées à l'exposition aux CEM RF au niveau du cervelet et de l'hippocampe. Ils précisent que seules quelques études portent sur les effets de

l'exposition aux CEM RF sur l'audition. Ils citent deux études n'ayant révélé aucun effet sur la fonction cochléaire.

Nittby et al. (2008) ont examiné un ensemble d'articles sur les effets des CEM RF et basses fréquences sur la BHE. Ils expliquent que les études portant sur les troubles de la BHE liés aux CEM RF indiquent des résultats contradictoires, issus de différents laboratoires. Certains groupes font état d'une augmentation de la perméabilité de la BHE avec leurs conditions expérimentales, et d'autres non.

Panagopoulos et Margaritis (2008) font référence à trois études axées sur les lésions des cellules cérébrales liées aux changements au niveau de la barrière hémato-encéphalique, eux-mêmes causés par l'exposition aux CEM RF. Deux de ces trois études ont révélé des effets, contrairement à la dernière.

Repacholi (1998) déclare que seules quelques études portent sur les effets de l'exposition à des CEM RF de faible niveau sur le système nerveux. La plupart des études sont en effet axées sur les CEM RF de forte intensité. L'auteur fait état d'études antérieures basées sur un faible niveau d'exposition, qui ne révèlent aucun changement au niveau de la perméabilité de la BHE, mais cite également deux études ayant révélé des effets à des niveaux d'exposition similaires. Il mentionne aussi deux analyses présentant des changements de l'activité électrique du cerveau chez des chats et des lapins exposés à des CEM RF. Il évoque par ailleurs deux études démontrant les effets de l'exposition aux CEM RF sur les neurotransmetteurs du cerveau. L'auteur souligne également l'existence de plusieurs études axées sur l'audition de micro-ondes.

Le CSRSEN (2015) a examiné quelques études (sept) sur l'exposition aux CEM RF et la perméabilité de la BHE. Les auteurs en concluent que l'exposition aux CEM RF à des valeurs de $DAS \leq 2$ W/kg entraîne une dégradation de la BHE. Ils ont également analysé trois études révélant des résultats contradictoires en ce qui concerne les effets des RF sur la dégénérescence neuronale. Ils se sont intéressés à six études sur l'expression de l'ERO après une exposition in vivo. Plusieurs de ces études suggèrent que l'exposition des rongeurs aux CEM RF peut entraîner des effets de stress oxydatif. Leur protocole fait toutefois l'objet de critiques de la part des auteurs. Ceux-ci ont également examiné dix études in vivo supplémentaires portant sur d'autres paramètres liés au système neuronal.

Sienkiewicz, Jones et Bottomley (2005) ont réalisé une analyse portant sur les effets de l'exposition aux CEM RF et EBF (d'extrêmement basse fréquence) sur le système nerveux. Ils déclarent que plusieurs études révèlent des effets sur différentes neurotransmissions, mais qu'au moins une partie d'entre elles attribuent ce phénomène à des effets liés à la température. Quatre des études examinées ont révélé des effets de l'exposition aux CEM RF sur la mémoire spatiale. Les auteurs précisent toutefois que quatre expériences ultérieures ne sont pas parvenues à reproduire les résultats de celles-ci. Deux études n'ont révélé aucun effet de l'exposition prénatale aux CEM RF sur la fonction cognitive.

La publication de Vecchia (2009) examine sept études sur l'expression génétique au niveau du système nerveux d'animaux de laboratoire exposés. Trois de ces sept études ont révélé un effet. Les auteurs commencent leur analyse sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur la BHE par une synthèse des études antérieures. Ils précisent qu'avant 2000, plusieurs études indiquaient que les CEM RF de faible niveau pouvaient altérer la perméabilité de la BHE, entraînant ainsi des effets négatifs. Ils soulignent toutefois que «des études mieux conduites ne sont pas parvenues à corroborer ces résultats et [que] les observations originales peuvent être attribuées à différents facteurs de confusion». Des variations régulières de la perméabilité ne sont observées qu'à des valeurs de DAS relativement élevées (> 7 W/kg). Les auteurs ont examiné onze études sur ce sujet, et quatre d'entre elles ont révélé un effet (trois de ces quatre études ont été réalisées avant 2000). Les études les plus récentes n'ont révélé aucun effet. Les auteurs en concluent donc que les précédents rapports portant sur une augmentation de la perméabilité de la BHE liée à l'exposition à

des CEM RF ne sont pas corroborés par ces études plus récentes et mieux réalisées. Neuf études portant sur l'électroencéphalographie (EEG) en cas d'exposition aux CEM RF ont été exécutées. Huit de ces neuf études ont révélé un effet. Les auteurs dressent la liste des différents problèmes présents dans ces études et concluent qu'il est impossible d'en tirer des enseignements d'ordre général concernant un quelconque effet des CEM RF sur les EEG des animaux. Onze études ont été examinées au niveau de paramètres liés aux neurotransmetteurs. Toutes ces études ont révélé un effet. Les auteurs en concluent donc que l'exposition aux CEM RF est susceptible d'entraîner des modifications transitoires de ces propriétés liées aux neurotransmetteurs. Ils recommandent cependant de réaliser davantage d'études afin de déterminer si ces effets ont pour origine une réaction auditive ou un effet de chauffage. Les auteurs ont également examiné les effets auditifs de l'exposition aux CEM RF. Ils commencent leur analyse en précisant qu'il est prouvé que les CEM RF pulsés peuvent être perçus par les animaux de laboratoire (audition de micro-ondes). Rien ne prouve toutefois que les schémas de modulation utilisés dans le cadre de la télécommunication entraînent également ce type d'effets. Les auteurs ont analysé quatre études basées sur des signaux modulés GSM (système global de communications mobiles) et des signaux à ondes entretenues, mais aucune d'entre elles n'a révélé un quelconque effet. Ils en concluent donc que «l'exposition à des RF semblables à celles d'un téléphone portable n'a aucun effet sur les fonctions auditives des rongeurs. Il est également évident que les animaux peuvent entendre les RF pulsées caractéristiques d'un radar au-dessus de certains seuils, au moyen d'un mécanisme d'expansion thermoélastique».

Système endocrinien

Habash et al. (2009) ont analysé deux études sur les animaux, axées sur l'effet potentiel de l'exposition aux CEM RF sur la production de mélatonine. L'une d'elles n'a permis d'observer aucun effet, alors que l'autre a révélé des modifications au niveau de la production de mélatonine pouvant être de nature thermique. Vecchia (2009) a examiné cinq études sur l'effet potentiel de l'exposition aux CEM RF sur le système endocrinien. Une seule étude a révélé un effet, contrairement aux quatre autres.

Système cardiovasculaire

Balmori, Castilla et Cortejoso (2006) s'intéressent aux modifications du rythme cardiaque des crapauds (*Xenopus Laevis*) exposés à des CEM RF observées dans une étude. Gordon et al. (1963) décrivent une réduction de la tension artérielle chez les animaux de laboratoire exposés à 1 mW/cm². Panagopoulos et Margaritis (2008) reviennent sur une étude révélant une augmentation du nombre de globules rouges chez les animaux exposés par rapport au groupe témoin. Vecchia (2009) analyse sept études sur les effets potentiels de l'exposition aux CEM RF sur le système cardiovasculaire, trois d'entre elles étant axées sur la réaction thermorégulatrice liée au chauffage diélectrique (voir section sur le chauffage diélectrique). Les quatre études restantes n'ont révélé aucun effet sur la fréquence cardiaque, et aucun effet sur la tension artérielle n'a été observé dans trois d'entre elles.

Immunologie et hématologie

Banik, Bandyopadhyay et Ganguly (2003) font état des changements de l'immunité des mammifères causés par l'exposition aux CEM RF. Ils ont examiné sept études révélant de tels effets. Marino et al. (2011) déclarent n'avoir trouvé qu'une étude de bonne qualité sur l'exposition aux CEM RF et le système immunitaire, et que cette étude n'a révélé aucun effet en ce qui concerne le développement du système immunitaire. Repacholi (1998) s'est intéressé à un ensemble d'études in vivo révélant des effets sur le système immunitaire en cas d'exposition aux CEM RF. Tous ces effets étaient toutefois similaires à ceux qu'il était possible d'observer dans le cadre de la thermorégulation. La moitié des études examinées ont révélé un effet. Dans une analyse antérieure réalisée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il était estimé que la plupart des effets sur le système immunitaire étaient transitoires et n'apparaissaient qu'à de hauts niveaux de DAS. Les auteurs en ont conclu que l'article analysé ne contredisait pas cette première conclusion et que la

plupart des études indiquaient que ces modifications des fonctions immunitaires et l'hématologie pouvant être observée étaient transitoires et associées à une augmentation de la température ≥ 1 °C.

Peau

Vecchia (2009) s'est intéressé à cinq études sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur la peau. L'une d'elles a révélé des lésions cutanées (causées par l'exposition aux CEM RF) et des modifications dans l'expression de certains gènes ont pu être observées dans une autre. La méthodologie de ces deux études a fait l'objet de critiques de la part des auteurs.

Yeux

Une publication d'Elder (2003) examine 45 études sur les effets oculaires de l'exposition aux CEM RF. Les auteurs ont découvert que plusieurs effets oculaires pouvaient être liés à l'exposition aux CEM RF. Il s'agit principalement de cataractes, mais il est également possible d'observer des effets sur la rétine, la cornée et d'autres parties de l'œil. Ils font état de cataractes au niveau des yeux des lapins exposés à 2 450 MHz pendant plus de 30 min, avec des valeurs de DAS localisées très élevées (≥ 150 W/kg). Ces valeurs de DAS sont associées à de fortes températures (≥ 41 °C) au niveau ou à proximité du cristallin de ces lapins. Les auteurs précisent également que les études sur les primates réalisées à des niveaux similaires ne donnent pas les mêmes résultats en matière d'incidence sur la cataracte, ce qui remet en cause la possibilité d'extrapoler les résultats de DAS de ces lapins aux primates (humains compris). Ils supposent qu'une élévation semblable de la température pourrait causer une cataracte au niveau de l'œil humain. Chez le lapin, l'exposition de très haut niveau de l'ensemble du corps n'entraîne pas de cataracte à des niveaux non létaux, alors que l'exposition localisée peut provoquer une cataracte. Les auteurs présentent un aperçu de plusieurs études portant sur ces phénomènes dans différentes parties de l'œil et utilisant l'exposition aux CEM RF proches comme aux CEM RF éloignés. Les études axées sur l'exposition à long terme de singes et de lapins n'ont révélé aucun effet oculaire.

Foster et Morrissey (2011) font état de lignes directrices concernant l'exposition localisée aux CEM RF, basées sur l'apparition d'une cataracte au niveau des yeux des lapins à un DAS localisé de 100 W/kg (ce qui peut provoquer une augmentation de la température jusqu'à 41,5 °C au niveau du cristallin). Ils présentent exactement la synthèse d'une autre analyse proposant une limite de 41 °C pour l'apparition de la cataracte au niveau du cristallin. Repacholi (1998) mentionne un ensemble d'études montrant les effets des CEM RF pulsés de faible niveau sur la rétine. Ces résultats n'ont pas pu être reproduits dans une étude portant sur les ondes entretenues.

La publication de Vecchia (2009) examine cinq études sur l'exposition aux CEM RF et le développement de la cataracte sur la gamme de fréquences ciblées dans cette section. Trois de ces cinq études ont révélé un effet sur le cristallin de l'animal exposé. Les auteurs font état d'un effet sur les anesthésiques, qui a pour effet de réduire le débit sanguin au niveau de l'œil et qui influence donc les résultats de ces études. Ils soulignent que les primates sont moins sensibles à cet effet que les lapins. Ils analysent également six études sur l'exposition aux CEM RF et les effets sur d'autres tissus au niveau de l'œil. Trois de ces six études révèlent des effets sur la cornée en cas d'exposition à des CEM RF pulsés, mais ces résultats n'ont pas été reproduits par des auteurs issus d'autres laboratoires. Quelques effets transitoires ont également été signalés.

Yu et Yao (2010) ont examiné quatre études montrant que les CEM RF à puissance élevée provoquaient la cataracte au niveau du cristallin. Ils ont examiné quatre études supplémentaires analysant les effets sur la transparence du cristallin à des niveaux non thermiques. L'une d'elles n'a révélé aucun effet, tandis que des effets (réversibles) ont été observés dans le cadre des trois autres. Ils font état de trois études révélant une augmentation de la mortalité des cellules épithéliales au niveau des cristallins exposés (deux études in vivo et une in vitro). L'une des études examinées

révélaient une influence de l'exposition aux CEM RF sur la communication intercellulaire des jonctions lacunaires au niveau des cellules épithéliales des cristallins exposés aux CEM RF.

Comportement

Balmori (2009) et Balmori, Castilla et Cortejoso (2006) font état de comportements néfastes chez les rongeurs et les lapins exposés aux CEM RF dans un nombre d'études restreint. Cucurachi et al. (2013) ont examiné un ensemble d'études de laboratoire sur les vertébrés (rats, souris et lapins) et analysé les changements de comportement de ces animaux à la suite de leur exposition. Ils en ont conclu que la littérature examinée présentait des résultats contradictoires. La CIPRNI (2020) fait état de changements comportementaux dans le but de réduire la température corporelle des primates non humains exposés à des niveaux de DAS pouvant entraîner des changements de température. Marino et al. (2011) ont examiné six études sur le comportement des animaux exposés à des CEM RF et ont découvert deux études faisant état d'amélioration des performances (sortie d'un labyrinthe). Le CSRSSEN (2015) a examiné onze études sur l'apprentissage, la mémoire ou le comportement en cas d'exposition aux CEM RF. Les auteurs ont découvert que certaines études faisaient état d'effets non thermiques et que d'autres ne révélaient aucun effet. Ils précisent la faible qualité des études en ce qui concerne l'exposition aux CEM RF, la mise en aveugle, l'adéquation des groupes témoins et la dosimétrie. La publication de Vecchia (2009) examine 19 études sur le comportement d'animaux exposés aux CEM RF, pendant ou après. Treize de ces 19 études révèlent un effet. Les auteurs considèrent qu'il s'agit d'effets thermiques ou auditifs. Ils concluent que le comportement opérant chez les rongeurs et les primates de laboratoire peut être perturbé par une exposition à des RF thermiques, qui suffisent à augmenter la température pour augmenter la température corporelle centrale d'environ 1 °C. Ils sont critiques à l'égard des études ayant révélé un effet sur les niveaux non thermiques d'exposition, mais ne tirent aucune conclusion claire.

Études environnementales

Comportement

Balmori (2009, 2014, 2015) fait état d'une corrélation négative entre la prévalence des moineaux domestiques et l'intensité du champ électrique induit par le réseau sans fil et les changements de l'activité des chauves-souris exposées à des CEM RF. Cucurachi et al. (2013) examinent un nombre restreint (< 5) d'études environnementales (appelées «études de terrain») ayant révélé un effet considérable de l'exposition aux CEM RF sur la densité de reproduction et la composition des espèces chez les oiseaux. Les études sur les oiseaux examinées par Cucurachi et al. (2013) et Balmori (2009, 2015, 2014) se recourent.

La publication de Verschaeve (2014) examine des études portant sur l'effet des CEM RF environnementaux sur les animaux. Les auteurs mentionnent un rapport indiquant qu'il est peu probable que les tours de transmission nuisent aux systèmes d'orientation ou de navigation des oiseaux migrateurs nocturnes. Ils mentionnent également une étude n'ayant révélé aucun effet sur l'arrivée à destination des pigeons et leur temps de disparition (CEM RF < 100 MHz). Toutefois, ils analysent aussi deux études ayant révélé un effet des CEM RF de faible niveau sur l'orientation géomagnétique des oiseaux. Ils examinent également deux études portant sur les aspects comportementaux des oiseaux exposés aux CEM RF sans aucun lien avec l'orientation. Ces deux études révèlent des effets. Dans l'une d'elles, l'agressivité des oiseaux est mise en avant; dans l'autre, ils ont tendance à éviter toute exposition. Ils reviennent aussi sur une étude axée sur le comportement et la survie de grenouilles exposées au réseau de télécommunication des CEM RF. Les auteurs critiquent les procédures expérimentales utilisées dans cette étude. Ils analysent une étude faisant état d'importants changements de comportement chez les vaches après l'installation d'une tour de transmission. Ils examinent deux études supplémentaires ayant révélé une augmentation de l'incidence de la cataracte chez les jeunes vaches exposées au cours de leur développement. Une autre étude présente un effet cytogénétique sur le sang de vaches exposées à un système de radar. Les auteurs analysent deux études cherchant à déterminer la possibilité

d'utiliser un radar pour éloigner les chauves-souris des éoliennes. Ces études montrent que la prévalence des chauves-souris est plus faible sur les sites où l'intensité des CEM RF l'est également.

Reproduction

Balmori (2009, 2014) fait état d'une corrélation négative entre la reproduction de la cigogne (*Ciconia Ciconia*) et l'exposition aux CEM RF (intensité du champ électrique) émis par le réseau sans fil. Cucurachi et al. (2013) mentionnent un nombre restreint (< 2) d'études environnementales (appelées «études de terrain») ayant révélé un effet considérable de l'exposition aux CEM RF sur la reproduction des oiseaux. La publication de Verschaeve (2014) analyse une étude ayant révélé une réduction de la fertilité chez les cigognes en raison de l'exposition environnementale aux CEM RF en Espagne. Les auteurs examinent deux études montrant une corrélation négative entre l'abondance de moineaux domestiques et l'intensité des CEM RF environnementaux. Une autre étude analysée n'a démontré aucun effet sur le comportement nidificateur des mésanges à proximité d'une installation radar. Il est difficile de savoir s'il s'agit d'un effet comportemental ou reproductif. Ils examinent une étude ayant révélé un effet sur la fertilité de souris placées autour d'un parc d'antennes. Le protocole associé au groupe témoin pose néanmoins problème dans cette étude.

Autre

Balmori (2015) fait état de changements au niveau des protéines redox et des activités enzymatiques chez les bovins exposés à des stations de base de 900 MHz. Verschaeve (2014) analyse deux études ayant révélé un effet piézoélectrique de l'exposition aux CEM RF sur les plumes des oiseaux.

3.1.2. Examen des effets sur les invertébrés

L'analyse bibliographique a mis en évidence 122 publications sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences ciblée. Quinze de ces publications sont des articles de synthèse, sept correspondent à des études de dosimétrie, 25 portent uniquement sur les propriétés diélectriques des invertébrés et trois études sont axées sur l'observation d'insectes à l'aide de réseaux de capteurs sans fil. Tout cela résulte en un ensemble de 72 publications, examinées dans cette section. 18 d'entre elles concernent le chauffage diélectrique par CEM RF, 44 sont des études en laboratoire, expérimentales ou environnementales axées sur les insectes et dix se concentrent sur d'autres invertébrés. Le Figure 1 présente un aperçu du flux d'étude dans cet aspect de l'examen.

L'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences allant de 0,4 à 6 GHz avait déjà fait l'objet d'analyses de la part de Cucurachi et al. (2013), Lin (2004), Newsom (1987), Panagopoulos et Margaritis (2008), Tanner et Romero-Sierra (1974), Válková et Vácha (2012), Verschaeve (2014), Malkemper et al. (2018) et Vanbergen et al. (2019). Il existe également plusieurs analyses portant sur le chauffage par CEM RF des invertébrés: Das, Kumar et Shah (2013b), Diprose, Benson et Willis (1984), Hou, Johnson et Wang (2016), Johnson et Marcotte (1999), Wang et Tang (2001) et Yadav et al. (2014).

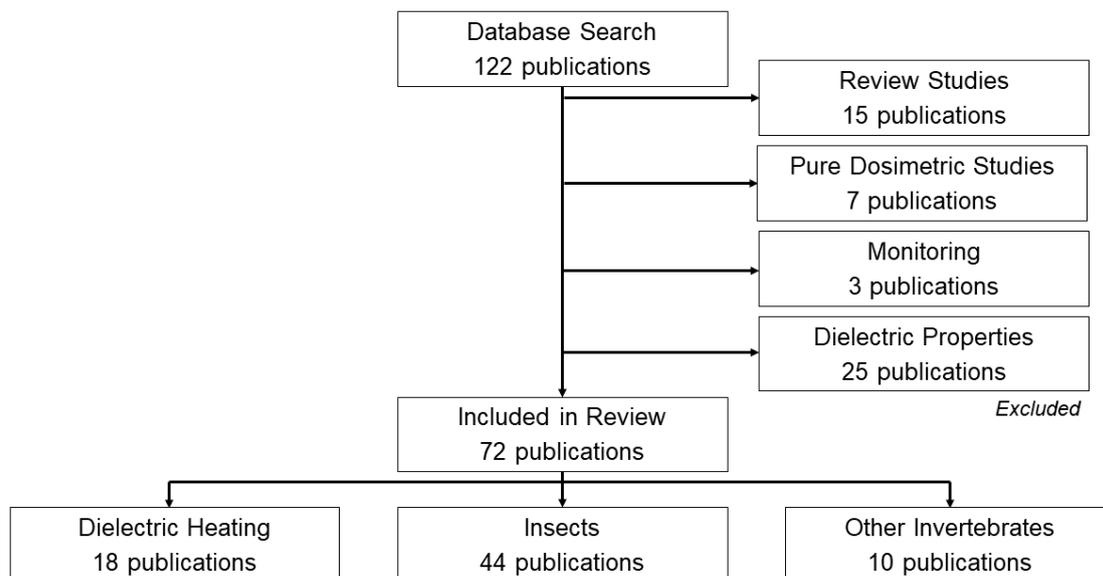


Figure 1 – Organigramme du post-traitement de l'analyse bibliographique sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF à basse fréquence

La désinfection par RF de produits alimentaires ou d'objets en bois précieux constitue l'une des principales applications des CEM RF dans la gamme de fréquences étudiée. Cette technique repose sur un chauffage diélectrique différentiel entre les insectes et le matériau contaminé. Afin d'estimer la viabilité d'un traitement par RF de ce type, de nombreuses études se sont efforcées de déterminer les propriétés diélectriques des insectes sur la gamme de fréquences allant de 0,4 à 6 GHz: Ahmed, Ramaswamy et Raghavan (2007), Andreuccetti et al. (1995), Andreuccetti et al. (1994), Colpitts, Pelletier et Cogswell (1992), Guo et al. (2011), Ikediala et al. (2000), Jiao et al. (2011), Rita Massa et al. (2014), Nelson et Charity (1972), Nelson (1966, 1996), Nelson et Payne (1982), Nelson et al. (1998), Nelson (1960, 2004, 1973), Nelson et Kantack (1966), Nelson et Stetson (1974), Nelson (1974, 2001), Nelson, Bartley et Lawrence (1997), Ondráček et Brunnhofer (1984), Tanaka, Mallikarjunan et Hung (1999) et Wang, Tang et al. (2003). Ces propriétés diélectriques peuvent ensuite être utilisées pour déterminer la puissance RF absorbée ou les CEM internes chez les invertébrés. Elles peuvent en outre être utilisées pour la conception de configurations d'exposition aux CEM RF. Ces études sont souvent dites «dosimétriques». De tels éléments sont essentiels pour les études portant sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur les invertébrés, même si eux ne les étudient pas directement. Des résultats dosimétriques liés à l'exposition des invertébrés aux CEM RF sont disponibles dans les publications suivantes: Ali et Al-Jabr (2003), Huang, Chen et Wang (2015), Soproni et al. (2012), Thielens, Bell et al. (2018), Thielens et al. (2020), Wang, Tang et al. (2003) et Fujiwara et Amemiya, (1982). Pour finir, cette analyse a également abouti à un ensemble d'études basées sur des réseaux sans fil (activés par des CEM RF) permettant de surveiller le comportement des insectes: Edwards-Murphy et al. (2016), Henry et al. (2019) et Kridi, de Carvalho et Gomes (2016). Les études dont il est question dans ce paragraphe ne sont pas examinées plus avant dans cette section mais fournissent des informations essentielles pour les autres études axées sur les effets des CEM RF.

Les études examinées sont divisées en trois parties. La première partie est constituée d'études visant à étudier les effets thermiques du chauffage par CEM RF. La deuxième partie est composée d'études axées sur les effets non thermiques des CEM RF sur certaines espèces d'insectes. La troisième partie comporte quant à elle des études portant sur les réactions neuronales chez d'autres espèces d'invertébrés.

Les paramètres les plus couramment étudiés sont la mortalité des invertébrés à différentes étapes de leur vie (cela s'applique surtout aux insectes: œuf, larve, nymphe, adulte), les changements de température, les changements de teneur en humidité, les changements de potentiel des CEM EBF sur certains neurones en cas d'exposition aux CEM RF, les changements de comportement, les modifications génétiques et les malformations ou les troubles du développement.

Le Tableau 3 fournit un aperçu des études portant sur le chauffage diélectrique des invertébrés (insectes) sur la gamme de fréquences allant de 450 MHz à 6 GHz. La plupart des études utilisent une fréquence de fonctionnement de 2,45 GHz et une cavité pour exposer les insectes aux CEM RF. La majorité des références listées dans le Tableau 3 montre des taux de mortalité pouvant atteindre 100 % aux doses maximales étudiées, ainsi qu'une augmentation des taux de mortalité proportionnelle à la dose de CEM RF administrée. Toutes les études listées dans le Tableau 3 concernent le chauffage diélectrique des invertébrés à l'aide de CEM RF. Les niveaux d'exposition des études listées dans le Tableau 3 sont bien plus élevés que les niveaux d'exposition pouvant être attendus dans un environnement réel et dépassent également les niveaux de référence et les restrictions de base formulées par la CIPRNI (CIPRNI, 2020).

Pour conclure, le Tableau 3 démontre que les CEM RF de très haute intensité sur la gamme de fréquences allant de 0,4 à 6 GHz peuvent entraîner un échauffement diélectrique chez les insectes susceptible de provoquer un fort taux de mortalité. Les études portant sur le chauffage par RF à des fréquences inférieures à 400 MHz ne sont pas comprises dans le Tableau 3. Celui-ci est toutefois couramment pratiqué à des fréquences inférieures à 50 MHz (principalement à 27 MHz): Frings (1952), Hansen, Wang et Tang (2004), Hansen, Drake, Heidt et al. (2006), Hansen, Drake, Watkins et al. (2006), Hansen et al. (2004, 2005), Headlee (1931, 1932, 1933) , Headlee et Jobbins (1938), Headlee et Burdette (2020), Ikediala, Tang et Wig (2000), Ikediala et al. (2002), Iritani et Woodbury (1954), Jiao et al. (2012), Johnson et al. (2004), Johnson, Wang et Tang (2003), Johnson et al. (1998), Kadoum, Nelson et Stetson (1967), Lowry et al. (1954), Mitcham et al. (2004), Monzon et al. (2006), Monzon et al. (2007), Rashkovan et al. (2003), Shrestha, Yu et Baik (2013), Wang et al. (2001), Wang Tang et al. (2002), Wang, Ikediala et al. (2002), Wang et al. (2007a, 2013), Webber, Wagner et Pearson (1946).

Tableau 3 – Vue d'ensemble des articles étudiant le chauffage par RF des invertébrés (0,45-6 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Niveau d'exposition ou puissance absorbée	Effet du traitement par CEM RF	Référence
<i>Cryptolestes Ferrugineus</i>	2,45	Guide d'ondes	≤ 40 s	600 W	Mortalité jusqu'à 100 %.	Hamid, Kashyap et Cauwenberghe, 1968
<i>Cryptolestes Ferrugineus</i>	2,45	Cavité	≤ 56 s	≤ 500 W	Augmentation de la mortalité après exposition aux RF. 100 % de mortalité à dose maximale (56 s et 500 W).	Vadivambal, Jayas et White, 2007
<i>Cydia Pomonella</i>	0,915	Cavité	≤ 2 min	5 kW	Augmentation de la température jusqu'à 55 °C. Augmentation de la mortalité.	Ikediala et al., 1999
<i>Delia Radicum</i>	2,45	Cavité	≤ 40 s	≤ 6 kW	Augmentation de la mortalité et de la température.	Biron et al., 1996
<i>Ephestia Cautella</i>	2,45	Cavité	≤ 150 s	900 W	90 s d'exposition suffisent à provoquer 100 % de mortalité.	Baysal et al., 1998
<i>Hylotrupes Bajulus</i>	2,45	Guide d'ondes à extrémité ouverte	1 min	≤ 250 W	Augmentation de la température jusqu'à 55 °C et de la mortalité jusqu'à 100 %.	Riminesi et Olmi, 2016
<i>Leptinotarsa Decemlineata</i>	2,45	Guide d'ondes	≤ 30 s	≤ 1 000 J/cm ²	Augmentation de la mortalité proportionnelle à l'augmentation de la dose. Plus la dose augmente, moins les œufs éclosent.	Colpitts, Pelletier et Sleep, 1993
<i>Oligomerus Ptilinoides</i>	2,45	Guide d'ondes à extrémité ouverte	1 min	≤ 250 W	Augmentation de la température jusqu'à 55 °C et de la mortalité jusqu'à 100 %.	Riminesi et Olmi, 2016
<i>Plodia Interpunctella</i>	2,45	Guide d'ondes à extrémité ouverte	≤ 40 min	≤ 150 W	Augmentation de la température et 100 % de mortalité après 40 min d'exposition. Une relation dose-effet est déterminée.	Shayesteh et Barthakur, 1996
<i>Rhyzopertha Dominica</i>	2,45	Cavité	≤ 10 min	1 kW	Mortalité jusqu'à 100 %.	Ahmed et al., 2011
<i>Rhyzopertha Dominica</i>	2,45	Cavité	≤ 26	1,6 kW	Augmentation de la température jusqu'à 55 °C. Augmentation de la mortalité par rapport aux groupes non exposés. Des combinaisons avec des rayons gamma et infrarouges sont également étudiées.	Kirkpatrick, Brower et Tilton, 1973

<i>Rhyzopertha Dominica</i>	2,45	Cavité	≤ 25 s	2 000 W	Mortalité jusqu'à 100 % après une exposition de 25 s.	Kirkpatrick et Roberts, 1971
<i>Rhynchophorus Ferrugineus</i>	2,45	Électrodes	≤ 35 min	1 kW	Augmentation de la température jusqu'à 50 °C.	Massa et al., 2011
<i>Sitophilus Granarius</i>	2,45	Guide d'ondes	≤ 40 s	600 W	Mortalité jusqu'à 100 %.	Hamid, Kashyap et Cauwenberghe, 1968
<i>Sitophilus Granarius</i>	0,9 et 2,45	Chambre de traitement coaxiale	≤ 120 s	≤ 3 MW/cm ³	Mortalité jusqu'à 100 %, quelle que soit la fréquence.	Ponomaryova, Rivera y Oyarzabal et Ruíz Sánchez, 2008
<i>Sitophilus Granarius</i>	2,45	Cavité	≤ 21 s	940 W	Augmentation de la mortalité et de la température (> 100 °C).	Baker, Wlant et Taboada, 1956
<i>Sitophilus Granarius</i>	2,45	Cavité	≤ 56 s	≤ 500 W	Augmentation de la mortalité après exposition aux RF. 100 % de mortalité à dose maximale (56 s et 500 W).	Vadivambal, Jayas et White, 2007
<i>Sitophilus Oryzae</i>	2,45	Cavité	≤ 25 s	2 000 W	Mortalité jusqu'à 100 % après une exposition de 25 s.	Kirkpatrick et Roberts, 1971
<i>Sitotroga Cerealella</i>	2,45	Cavité	≤ 25 s	2 000 W	Mortalité jusqu'à 100 % après une exposition de 25 s.	Kirkpatrick et Roberts, 1971
<i>Sitotroga Cerealella</i>	2,45	Cavité	25 s	Inconnue	Augmentation de la mortalité en fonction de l'âge de l'insecte. Une combinaison avec des rayons gamma est également examinée.	Tuton et al., 1972
<i>Tribolium Castaneum</i>	2,45	Cavité	≤ 56 s	≤ 500 W	Augmentation de la mortalité proportionnelle à celle de la dose. Les œufs étaient les plus sensibles et les nymphes les moins sensibles.	Vadivambal, Jayas et White, 2006
<i>Tribolium Castaneum</i>	2,45	Cavité	≤ 56 s	≤ 500 W	Augmentation de la mortalité après exposition aux RF. 100 % de mortalité à dose maximale (56 s et 500 W).	Vadivambal, Jayas et White, 2008
<i>Tribolium Castaneum</i>	2,45	Cavité	≤ 56 s	≤ 500 W	Augmentation de la mortalité après exposition aux RF. 100 % de mortalité à dose maximale (56 s et 500 W).	Vadivambal, Jayas et White, 2007
<i>Tribolium Confusum</i>	2,45	Cavité	≤ 21 s	940 W	Augmentation de la mortalité et de la température (> 100 °C).	Baker, Wlant et Taboada, 1956
<i>Tribolium Confusum</i>	2,45	Cavité	Inconnue	1,2 kW	Augmentation de la température jusqu'à 65 °C avec jusqu'à 100 % de mortalité	Hamid et Boulanger, 1969

<i>Tribolium Confusum</i>	2,45	Guide d'ondes	≤ 40 s	600 W	Mortalité jusqu'à 100 %.	Hamid, Kashyap et Cauwenberghe, 1968
<i>Tribolium Confusum</i>	2,45	Guide d'ondes à extrémité ouverte	≤ 40 min	≤ 150 W	Augmentation de la température et 100 % de mortalité après 40 min d'exposition. Une relation dose-effet est déterminée.	Shayesteh et Barthakur, 1996

Ces articles, qui traitent des effets de l'exposition aux CEM RF sur les insectes, sont mentionnés séparément pour chaque type d'insecte. Dans l'ensemble, les études en laboratoire portant sur l'exposition des insectes aux CEM RF (entre 0,4 et 6 GHz) disponibles dans la littérature présentent trois problèmes d'ordre général: 1) la qualité du groupe témoin et du groupe témoin de simulation ou l'absence de tels groupes témoins, 2) la quantification et la stabilité de l'exposition aux CEM RF et 3) les interférences entre les effets, liées à l'exposition aux CEM RF et à d'autres agents (exposition au son, à la chaleur et aux EBF).

***Aedes Aegypti* (moustique de la fièvre jaune)**

Poh et al. (2017) ont étudié le comportement (par localisation par caméra) de moustiques *Aedes Aegypti* dans une chambre d'exposition aux CEM RF entre 10 MHz et 20 GHz, à un niveau d'exposition inconnu. Bien que le dispositif de mesure et le protocole d'étude proposés par Poh et al. (2017) présentent un grand intérêt, l'étude ne fournit aucune évaluation de l'exposition. Il est donc impossible d'interpréter la véritable exposition de ces moustiques. Cette étude n'a révélé aucune différence dans le comportement des groupes exposés par rapport au groupe témoin, et aucune corrélation avec la fréquence n'a été observée de manière reproductible.

***Apis Mellifera* (abeille européenne)**

Plusieurs études portent sur l'exposition d'*Apis Mellifera* aux CEM RF, voir Tableau 4. Les premières expériences sur cette gamme de fréquences ont été présentées dans les publications de Westerdahl et Gary (1981) et Gary et Westerdahl (1981); des abeilles ont été exposées à des CEM RF de 2,45 GHz, avec des densités de puissance incidentes comprises entre 3 et 50 mW/cm². Aucune modification du comportement, de l'ingestion de saccharose ou de la mortalité n'a été observée entre les groupes exposés et le groupe exposé à un signal fictif. Pour ce dernier, l'exposition n'a toutefois pas été déterminée dans cette étude.

La publication de Favre (2011) étudie les effets de la présence d'un téléphone portable sur le son produit par une ruche (également appelé «chant»). Indépendamment des conditions expérimentales, les auteurs ne sont pas parvenus à déterminer l'exposition aux CEM RF ni la température, ce qui s'avère problématique. Pour l'exposition fictive, ils ont utilisé un téléphone en mode «veille». Cette exposition fictive ne modifie pas le son de la ruche par rapport à celui du groupe témoin non exposé. La présence d'un téléphone émettant un signal a modifié le son de la ruche après 30 min d'exposition. Cet effet peut être thermique (aucune mesure de température) et s'est avéré réversible.

Vilić et al. (2017) ont exposé des abeilles européennes dans une cellule TEM à 900 MHz, et ce, à différents niveaux d'exposition. Ils ont eu recours à une exposition fictive, mais n'ont pas mesuré l'exposition pour le groupe concerné. Ils se sont intéressés à la réaction de stress oxydatif et à la génotoxicité et ont observé des différences significatives entre le groupe soumis à une exposition fictive et les groupes soumis à différents niveaux d'exposition pour plusieurs des paramètres étudiés. Leur étude n'a révélé aucun effet systématique pour tous les niveaux d'exposition ni aucune relation dose-effet.

L'exposition des abeilles européennes aux CEM RF a également été étudiée par Halabi, Achkar et Haidar (2013), Kimmel (2007), Lopatina et al. (2019), Sharma et Kumar (2010), mais ces études présentent des défauts expérimentaux considérables, tels que l'absence de groupe de simulation, notamment chez Sharma et Kumar (2010), Kimmel (2007) et Halabi, Achkar et Haidar (2013), et l'absence de détermination du niveau d'exposition du groupe de simulation, qui diffère de celui des groupes témoins non exposés, comme celle de Lopatina et al. (2019).

Tableau 4 – Études portant sur l'exposition de l'*Apis Mellifera* (abeille européenne) aux CEM RF (0,4-6 GHz)

Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition fictive	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
0,9	Téléphones portables	< 20 h	Groupe témoin avec des téléphones inactifs ou en mode «veille». L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée. Le son a été mesuré. Un groupe témoin non exposé a également été utilisé.	Oui	Non déterminé	L'exposition fictive ne modifie pas le son (chant) de la ruche par rapport à celui du groupe témoin non exposé. Après 30 min d'exposition, le son de la ruche change. Cet effet peut être thermique (aucune mesure de température).	Favre, 2011
0,9-2,2	Téléphone portable	15 min/jour	Non	Non	Non déterminé	Effet sur le son de la ruche après 12 min d'exposition. Diminution de la taille de la ruche après une exposition prolongée.	Halabi, Achkar et Haidar, 2013
2,45	Antenne à cornet dans la chambre d'exposition	30 min	Trois groupes témoins: exposition fictive, groupe témoin en laboratoire et groupe témoin dans la ruche. L'exposition n'a pas été mesurée pour les groupes témoins.	Oui	3-50 mW/cm ²	Aucun effet sur le comportement n'a été relevé.	Gary et Westerdahl, 1981
1,9	Station DECT	Imprécise	Groupe témoin protégé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été déterminée.	Non	2,5 mW de puissance transmise	Aucune différence entre les groupes exposés et non exposés dans l'indicateur étudiant le retour à la ruche.	Kimmel, 2007
2,45	Point d'accès Wi-Fi dans une cage de Faraday	2-24 h	Groupe témoin non exposé et deux groupes en exposition fictive. L'exposition n'a été mesurée pour aucun de ces groupes.	Oui	Imprécis	Réduction de l'incidence du réflexe d'alimentation non conditionné et conditionné chez les insectes exposés (réflexe conditionné également altéré pour l'exposition fictive).	Lopatina et al., 2019
0,9	Téléphone portable	15 min, 2 fois/jour, jusqu'à 1 500 h	Groupe témoin non exposé et exposition fictive avec téléphones factices. L'exposition non mesurée pour le groupe témoin et l'exposition fictive.	Non	56,8 V/m (mesure)	Modifications du comportement alimentaire après exposition. Modifications de la taille de la colonie après exposition. Un échantillon de petite taille a été utilisé, sans aucune statistique.	V. P. Sharma et Kumar, 2010
0,9	Téléphone portable	30 min/jour, pendant deux semaines	Le groupe témoin fait l'objet d'une exposition fictive L'exposition n'a pas été mesurée pour le groupe en situation d'exposition fictive.	Oui	0,9-3,8 V/m (mesure unique)	Chances de survie de la reine réduites dans les groupes exposés. Diminution de l'éclosion de reines. Aucune modification du succès de l'accouplement. Aucune modification des colonies.	Odemer et Odemer, 2019
0,9	Cellule TEM	2 h	Le groupe témoin a fait l'objet d'une exposition fictive L'exposition n'a pas été mesurée pour le groupe en situation d'exposition fictive.	Oui	10, 23, 41 et 120 V/m	La réponse oxydative et la génotoxicité ont été étudiées. Des différences considérables entre l'exposition réelle et fictive ont pu être observées pour certains niveaux ou paramètres étudiés, mais elles n'ont pas été observées pour d'autres niveaux d'exposition.	Vilić et al., 2017
2,45	Chambre d'exposition	0,5-24 h	Groupe témoin non exposé et groupe en chambre d'exposition fictive. L'exposition du groupe témoin et du groupe en situation d'exposition fictive n'a pas été mesurée.	Oui	3-50 mW/cm ²	Aucune modification de la consommation de saccharose et de la mortalité.	Westerdahl et Gary, 1981

Tableau 5 – Études portant sur l'exposition de *Drosophila Melanogaster* (drosophile) aux CEM RF (0,4-6 GHz)

Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition fictive	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
1,9	Téléphone portable	60 min, 2 fois/jour, pendant 10 jours	Le groupe témoin a été exposé à un téléphone hors tension. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Oui	1,5 -3,3 V/m (mesure). Les CEM EBF sont également mesurés.	Augmentation de la progéniture (adultes et nymphes). Effets cellulaires: niveaux hsp70 élevés, augmentation de l'élément de réponse sérique, liaison à l'ADN et induction de la phosphorylation du facteur de transcription nucléaire ELK-1.	Weisbrot et al., 2003
0,8	Dispositif d'exposition breveté (cavité)	< 36 h	Le groupe témoin était constitué d'insectes non exposés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Non	1,6 -4 W/kg	Réduction de la viabilité du groupe à forte exposition après 18 h d'exposition, contre 36 h pour le groupe à faible exposition. L'exposition aux CEM RF déclenche une réaction de stress cellulaire et certains signaux de réponse.	Lee et al., 2008
2,45	Antenne	6 h	Groupe témoin non exposé et groupe témoin immergé dans l'eau, Groupe témoin négatif passé aux rayons X. Exposition non mesurée.	Non	100 W/kg.	Aucune activité mutagène liée à l'exposition aux CEM RF. Différence avec l'exposition aux rayons X.	Hamnerius et al., 1979
0,03-3	Électrodes, bobine de Helmholtz, cavité, antenne à cornet	6 h	Le groupe témoin était constitué d'insectes non exposés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Non	0,3 W/kg (27 MHz), 110 W/kg (2,45 GHz), 60 W/kg (3 GHz)	Aucune exposition aux CEM RF n'a résulté en une fréquence de mutation élevée.	Hamnerius, Rasmuson et Rasmuson, 1985
0,8-1,9	Téléphone portable et téléphone DECT	20 min/jour	Le groupe témoin était constitué d'insectes non exposés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Non	Des calculs sont présentés	Aucun effet probant sur la capacité de reproduction. Étude critiquée pour l'absence d'exposition fictive.	Geronikolou et al., 2014; Dimitris, J. et Andreas, 2020; Geronikolou et al., 2019
0,9-1,8	Téléphone portable	< 6 min/jour	Le groupe témoin a été exposé à un téléphone hors tension. Exposition du groupe témoin non mesurée.	Oui	0,35 ± 0,07 mW/cm ² (mesure)	Réduction du nombre de nymphes par mouche femelle chez les groupes exposés. Incidence élevée de couveuses avec un ADN fragmenté ou un réseau d'actine désorganisé.	Chavdoula, Panagopoulos et Margaritis, 2010

1,9	Point d'accès aux gaines	0,5, 1, 6, 24 et 96 h	Groupe témoin non exposé (protégé) et groupe en exposition fictive L'exposition du groupe témoin et du groupe en situation d'exposition fictive n'a pas été mesurée.	Oui	2,7 V/m (mesure)	Il a été observé que la teneur cellulaire en espèces réactives de l'oxygène (ERO) augmente lorsque la durée d'exposition dépasse 6 h. Cette réaction a également été observée au niveau des ovaires des mouches femelles dans le cadre d'expositions plus courtes. Aucune différence entre exposition fictive et non-exposition.	Manta et al., 2014
1,8	Téléphone portable	30 min	Groupe témoin en exposition fictive: téléphone portable hors tension. L'exposition du groupe de simulation n'est pas mesurée.	Oui	10 V/m (mesure)	Il a été observé que la teneur cellulaire en espèces réactives de l'oxygène (ERO) augmentait. Quelques modifications de l'expression génétique.	Manta et al., 2017
2,4	Guide d'ondes	5-60 min/jour; une exposition plus longue est effectuée à un niveau plus faible sur un à cinq jours.	Le groupe témoin correspond à un échantillon non traité. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée	Non	15-25 W/cm ²	L'augmentation du nombre de jours d'exposition a eu pour effet de réduire le taux de survie. Un niveau de puissance plus élevé cause également davantage de mortalité par rapport aux niveaux plus faibles. Aucun effet sur le sex ratio de la progéniture, mais réduction du nombre en cas d'exposition plus longue.	Marec, Ondráček et Brunnhofer, 1985
2,45	Guide d'ondes	10 min	Groupe témoin non exposé et groupe témoin de simulation. L'exposition du groupe témoin et du groupe de simulation n'est pas mesurée. Groupe témoin avec méthode de chauffage alternative.	Oui	0,644 W/g (calcul)	Réduction du nombre d'œufs par femelle chez le groupe exposé aux RF par rapport au groupe de simulation et au groupe témoin. L'exposition aux RF a bien occasionné un échauffement. La méthode de chauffage alternative entraîne une réduction similaire du nombre d'œufs par femelle. La survie des œufs est plus faible pour les groupes exposés aux CEM RF que pour le groupe en exposition fictive, le groupe témoin et le groupe utilisant une méthode de chauffage alternative.	Pay, Andersen et Jessup, 1978
0,029 et 0,15	Champ proche d'une antenne	12 h	Le groupe témoin correspond à un échantillon non traité. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée	Non	62 V/m (150 MHz) et 600 V/m (29 MHz), mesure	Aucune augmentation des aberrations génétiques testées chez la progéniture des mouches exposées comme non exposées.	Mittler, 1976

0,02-2,4	Un ensemble de dispositifs RF	Différents schémas d'exposition. Jusqu'à 7 jours d'exposition (jusqu'à 1 h/jour).	Groupe témoin non exposé et groupe en « exposition fictive ». Le groupe de simulation n'a pas été exposé au dispositif non émetteur. Le groupe de simulation a été protégé. L'exposition du groupe de simulation a été contrôlée. Les EBF ont également été mesurées.	Non	0,3 -22 V/m (mesure dépendante de la technologie)	Augmentation du pourcentage d'apoptose des follicules ovariens. Diminution de la fécondité (œufs viables chez les femelles). Ces deux quantités sont corrélées. L'existence d'une relation dose-effet est démontrée à l'aide de la variation de la durée d'exposition et de l'éloignement.	Margaritis et al., 2014a
0,1-0,9	Antenne	6 ou 60 min/jour pour 6 jours, ou 6 ou 60 min le 6 ^e jour	Groupe témoin non exposé, protégé.	Non	0,2-9 V/m	Augmentation de la mortalité cellulaire apoptotique par rapport au groupe témoin pour la plupart des groupes exposés. Bien que significatives, les différences entre les groupes témoins restent moindres.	Sagioglou et al., 2016
0,9	Téléphone portable	6 min toutes les 10 h	Groupe témoin en exposition fictive et groupe témoin non exposé. L'exposition du groupe témoin et du groupe en situation d'exposition fictive n'a pas été mesurée.	Oui	0,354 ± 0,063 mW/cm ² (mesure). Mesure également des CEM EBF.	Modification de la taille des ovaires dans les groupes exposés après 20 h d'exposition. Les auteurs attribuent ce résultat à l'altération de l'ADN.	Panagopoulos, 2012
0,9	Téléphone portable	6 min/jour, < 5 jours	Deux groupes témoins en exposition fictive. L'exposition du groupe de simulation n'a pas été mesurée.	Oui	0,436+/- 0,060 mW/cm ² (transmission de données); 0,041+/- 0,006 mW/cm ² (faible transmission de données). Les EBF sont également mesurées.	Diminution de la capacité de reproduction (nombre de nymphes par mouche femelle). Des effets de l'utilisation du téléphone portable sont observables (transmission d'un volume faible ou élevé de données).	Panagopoulos, Karabarbounis et Margaritis, 2004
0,9-1,8	Imprécises	6 min/jour, < 5 jours	Groupe témoin en exposition fictive. L'exposition n'a pas été mesurée pour l'exposition fictive	Oui	0,4 mW/cm ² (mesure)	Augmentation de la fragmentation de l'ADN ovarien par rapport à l'exposition fictive et l'exposition à des EBF.	Panagopoulos, 2019

0,9-1,8	Téléphone portable	6 min/jour, 5 jours	Groupe témoin en exposition fictive. L'exposition n'a pas été mesurée pour l'exposition fictive	Oui	0,4 mW/cm ² (900 MHz, mesure), 0,3 mW/cm ² (1 800 MHz, mesure). Mesure également des EBF.	Diminution de la capacité de reproduction après une exposition aux CEM RF.	Panagopoulos, Chavdoula, Karabarbounis et al., 2007
0,9-1,8	Téléphone portable	6 min/jour, 5 jours	Groupe témoin en exposition fictive et groupe témoin non exposé. L'exposition du groupe témoin et du groupe en situation d'exposition fictive n'a pas été mesurée.	Oui	0,4 mW/cm ² (900 MHz, mesure), 0,3 mW/cm ² (1 800 MHz, mesure). Mesure également des EBF.	Augmentation de la mortalité cellulaire dans les ovaires après une exposition aux CEM RF.	Panagopoulos, Chavdoula, Nezis et al., 2007
0,9-1,8	Téléphone portable	6 min/jour, 5 jours	Groupe témoin en exposition fictive et groupe témoin non exposé. L'exposition du groupe témoin et du groupe en situation d'exposition fictive n'a pas été mesurée.	Oui	0,004-0,4 mW/cm ² (exposition aux EBF également mesurées)	Diminution de la capacité de reproduction et augmentation de la mortalité cellulaire dans les ovaires après une exposition aux CEM RF, jusqu'à une certaine distance par rapport au téléphone portable (relation dose-effet).	Panagopoulos et Margaritis, 2010
1,8-2,7	Antenne	12 h/jour, 5 jours	Groupe témoin de simulation en chambre sourde. L'exposition n'a pas été mesurée, mais le groupe de simulation était protégé lors de l'exposition normale.	Oui	29 mW/m ² (calcul)	Huit propriétés du cerveau ont été étudiées. Un changement significatif n'a été observé que pour une de ces propriétés dans le groupe exposé par comparaison à l'exposition fictive (nombre d'Euler).	Singh et al., 2020

Tableau 6 – Études portant sur l'exposition des fourmis aux CEM RF (0,4-6 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Myrmica Sabuleti</i> (fourmi)	0,9	Antenne à plaque	Plusieurs jours (par intermittence)	Le groupe témoin était constitué de fourmis non exposées. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Non	0,77 V/m (calcul)	Efficacité réduite du conditionnement olfactif et visuel. Augmentation de la perte de mémoire.	Cammaerts et al., 2012
<i>Myrmica Sabuleti</i> (fourmi) et <i>Myrmica Ruginodis</i> (fourmi)	0,9-2,4	Téléphone portable, smartphone, téléphone DECT, point d'accès Wi-Fi et ordinateur portable	Imprécise. Pour la durée de l'expérience.	Exposition fictive avec des dispositifs hors tension et groupe témoin non exposé, en aveugle. Aucune mesure de l'exposition n'est présentée.	Oui	Imprécis	Quelques effets sur la vitesse linéaire et angulaire des fourmis. Cependant, une différence a été observée en exposition fictive par rapport au groupe témoin.	Cammaerts et Johansson, 2014
<i>Myrmica Sabuleti</i> (fourmi)	0,9	Antenne à plaque	2,5 jours	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	Non	0,77 V/m (calcul)	La réaction des fourmis à certaines phéromones a été étudiée. Un effet potentiel sur la collecte alimentaire a aussi été analysé.	Cammaerts et al., 2013
<i>Myrmica Sabuleti</i> (fourmi)	0,94	Antenne log-périodique	10 min	L'exposition naturelle est mesurée (0,024 V/m). Le groupe témoin est exposé à ces niveaux.	Non	1,5 V/m (et deux niveaux avec 10 dB et 50 dB de moins)	Des effets sur le comportement ont été observés. La réaction des fourmis à certaines phéromones a été modifiée.	Cammaerts, Vandenbosch et Volski, 2014

***Dermacentor Reticulatus* (tique)**

Le mouvement de *Dermacentor Reticulatus* exposée à des CEM RF à 900 MHz a été étudié par Vargová et al. (2017). Une densité de puissance de $700 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (calculée, et non mesurée) a été utilisée pendant 4 min. Une augmentation du mouvement des insectes exposés a pu être observée par rapport aux mêmes insectes non exposés. L'exposition naturelle durant les périodes de non-exposition aux CEM RF doit être faible, car les tests ont été réalisés dans une chambre sourde.

Drosophila Melanogaster

Le Tableau 5 dresse la liste des études relatives aux effets de l'exposition aux CEM RF sur *Drosophila Melanogaster*. Dans les années 1970 et 1980, un ensemble d'études portait sur l'exposition des drosophiles aux CEM RF. Plusieurs d'entre elles, réalisées pour des fréquences comprises entre 0,1 et 2,45 GHz, n'ont révélé aucune lésion génétique supplémentaire chez les mouches exposées par rapport au groupe témoin non exposé (Hamnerius et al. (1979), Hamnerius, Rasmuson et Rasmuson (1985) et Mittler (1976)). Ces études n'utilisaient toutefois pas l'exposition fictive et ne mesuraient pas non plus l'exposition de leurs groupes témoins non exposés. Marec, Ondráček et Brunnhofer (1985) n'ont observé aucun effet génétique après l'exposition de drosophiles à des CEM RF de 2,4 GHz. Toutefois, eux non plus n'ont pas eu recours à l'exposition fictive. L'article présente certains effets, notamment la diminution du taux de survie à des niveaux d'exposition élevés ($25 \text{ W}/\text{cm}^2$) par rapport à des niveaux d'exposition plus faibles ($\leq 20 \text{ W}/\text{cm}^2$).

Pendant cette même période, Pay, Andersen et Jessup (1978) ont étudié l'effet du chauffage par RF sur la drosophile à 2,45 GHz par comparaison à l'exposition fictive et à un groupe témoin non exposé. Ils ont observé une réduction du nombre d'œufs par femelle chez le groupe exposé aux RF par rapport au groupe de simulation et au groupe témoin. Une méthode de chauffage alternative a entraîné une réduction similaire du nombre d'œufs par femelle. Toutefois, ils ont également constaté que la survie des œufs était plus faible pour les groupes exposés aux CEM RF que pour le groupe soumis à une exposition fictive, le groupe témoin et le groupe utilisant une méthode de chauffage alternative. Cet effet n'a pu être attribué à la seule élévation de température.

Dans des travaux plus récents, un centre de recherche grec a publié un grand nombre d'études démontrant les effets de l'exposition aux CEM RF (0,8-2,5 GHz) sur la drosophile: Chavdoula, Panagopoulos et Margaritis (2010), Manta et al. (2017, 2014), Margaritis et al. (2014b), Sagioglou et al. (2016), Panagopoulos (2012), Panagopoulos, Karabarbounis et Margaritis (2004), Panagopoulos (2019), Panagopoulos, Chavdoula, Nezis et al. (2007), Panagopoulos, Chavdoula, Karabarbounis et al. (2007) et Panagopoulos, Chavdoula et Margaritis (2010). Ces études sont présentent également d'importants défauts expérimentaux. La plupart d'entre elles utilisent de véritables dispositifs émetteurs de CEM RF en tant que sources. Il est donc impossible de contrôler les valeurs d'exposition aux CEM RF, puisque c'est l'opérateur du réseau qui détermine la puissance de sortie de ses dispositifs. Les études présentent des valeurs de densité de puissance de champs électromagnétiques ayant fait l'objet de critiques (Verschaeve, 2014), car les niveaux d'exposition aux CEM RF ne sont pas mesurés correctement. De même, les valeurs d'exposition ne sont mesurées qu'une seule fois, plutôt que de façon continue pendant toute l'expérience. L'une des publications fait appel à un générateur de signaux et à une antenne avec puissance de sortie contrôlée en tant que source de RF (Sagioglou et al. (2016)). Un groupe d'exposition fictive fait toutefois défaut à cette étude particulière. Dans une autre publication, le problème de l'évaluation imprécise de l'exposition est contourné par la variation de l'éloignement (Margaritis et al. (2014b)). Cependant, cette étude ne fait pas non plus intervenir un véritable groupe d'exposition fictive. En dehors de Sagioglou et al. (2016) et Margaritis et al. (2014b), les études de ce groupe de recherche ont pour principal intérêt qu'elles utilisent l'exposition fictive comme témoin. Cet aspect faisait précédemment défaut. Toutefois, l'exposition n'a jamais été mesurée pour l'exposition fictive (ni pour le groupe non exposé). Les auteurs rapportent une série d'effets sur les drosophiles après exposition aux CEM RF par rapport à l'exposition fictive: une réduction du nombre de nymphes par mouche femelle chez

Chavdoula, Panagopoulos et Margaritis (2010), Margaritis et al. (2014a), Panagopoulos, Karabarbounis et Margaritis (2004), Panagopoulos, Chavdoula, Nezis et al. (2007), Panagopoulos, Chavdoula et Margaritis (2010); une augmentation des teneurs cellulaires en espèces réactives de l'oxygène chez Manta et al. (2017, 2014); des problèmes (d'ADN) au niveau des ovaires chez Margaritis et al. (2014b), Panagopoulos (2019), Panagopoulos, Chavdoula, Karabarbounis et al. (2007), Panagopoulos, Chavdoula et Margaritis (2010); une augmentation de la mortalité cellulaire apoptotique chez Sagioglou et al. (2016); et une modification de la taille des ovaires chez Panagopoulos (2012). Tous ces résultats sont liés à des problèmes de reproduction causés par l'exposition aux CEM RF.

Singh et al. (2020) étudient l'effet de l'exposition à des CEM RF entre 1,8 et 2,7 GHz à 29 mW/m² sur certains paramètres du cerveau des drosophiles. L'analyse de huit paramètres a permis de révéler des changements dans l'un d'eux par rapport à une exposition fictive (groupe de simulation protégé).

Quelques études récentes portent également sur l'exposition des drosophiles aux CEM RF, mais sans groupe de simulation et/ou évaluation de l'exposition du groupe témoin: Geronikou et al. (2014, 2019), Dimitris et Andreas (2020) et Lee et al. (2008), voir Tableau 5. Geronikou et al. (2014) ne font état d'aucun effet sur la capacité de reproduction. Lee et al. (2008) ont trouvé une relation dose-effet influant sur la viabilité des insectes et découvert que l'exposition aux CEM RF provoque un stress cellulaire et déclenchent certains signaux de réponse.

Les publications sur les drosophiles présentent des défauts majeurs. Les études n'utilisent pas l'exposition fictive comme référence ou, lorsque c'est le cas, les mesures d'exposition ne sont pas fiables. Les études faisant appel à un groupe d'exposition fictive ont observé des effets significatifs de l'exposition aux CEM RF, tandis que celles s'appuyant sur un groupe témoin non exposé (ou potentiellement exposé) n'en observent aucun. Presque aucune étude ne fournit de mesures de l'exposition pour les groupes en exposition fictive les groupes témoins. Cela complique énormément l'interprétation de leurs résultats.

Myrmica Sabuleti

Un ensemble d'articles publié par un même groupe de recherche étudie les effets de l'exposition aux CEM RF sur les fourmis (*Myrmica Sabuleti* et *Myrmica Ruginodis*): Cammaerts et al. (2012), Cammaerts et Johansson (2014), Cammaerts et al. (2013) et Cammaerts, Vandenbosch et Volski (2014). Une seule de ces études recourt à l'exposition fictive: Cammaerts et Johansson (2014). Dans cette étude, l'exposition fictive a permis de révéler une différence significative par rapport au groupe témoin non exposé en ce qui concerne l'effet étudié. L'exposition aux CEM RF n'est mesurée que dans l'une de ces études: Cammaerts, Vandenbosch et Volski (2014). En outre, certaines conditions d'exposition impliquent une exposition à d'autres agents, comme le déplacement d'air chaud, le son et les CEM EBF, notamment dans le cas de Verschaeve (2014). Ces études sont axées sur des aspects comportementaux des colonies de fourmis, le conditionnement et la rétention de réflexes conditionnés. Elles font état de changements de comportement et de conditionnement par rapport aux groupes témoins, mais l'exposition de ceux-ci demeure inconnue.

Tableau 7 – Études portant sur l'exposition du *Tenebrio Molitor* (coléoptère) aux CEM RF (0,4-6 GHz)

Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition fictive	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
4-6	Antenne à cornet et réflecteur	5 min- 6 h	Témoin exposition fictive (dans une enceinte blindée). Groupe témoin avec une autre méthode de chauffage.	Oui	38-1526 J/kg (< 24 mW/cm ²)	Augmentation de la mortalité et des malformations en cas d'exposition aux CEM RF. Une augmentation de température pouvant atteindre 15 °C a été mesurée. Les effets de l'autre méthode de chauffage génèrent moins de mortalité et de malformations pour des écarts de température similaires.	Olsen, 1977
6	Antenne à cornet et réflecteur	1,5-24 h	Imprécis	Imprécise	1 123 J/g	Un DAS élevé (208 W/kg) et une courte durée d'exposition entraînent des malformations et une forte mortalité, tandis qu'un DAS plus faible (13 W/kg) et une durée d'exposition plus longue (dose identique) ne provoquent pas de malformations ni de mortalité supplémentaire. Une différence de polarisation est observée. Une augmentation de la température est mesurée.	Olsen, 1982
6	Antenne à cornet avec et sans réflecteur	2-13 h	Imprécision quant à la manière dont le contrôle est effectué	Imprécise	130 W/kg et 54 W/kg (polarisation)	Effet sur le nombre de mortalités et de malformations dans le cas d'exposition pour lequel le champ magnétique était parallèle à l'insecte avec réflecteur. Aucun effet dans l'espace libre et le champ électrique parallèle aux nymphes.	Pickard et Olsen, 1979

Tenebrio Molitor

Plusieurs études se sont intéressées à l'exposition de *Tenebrio Molitor* aux CEM RF, voir Tableau 7. Pickard et Olsen (1979) et Olsen (1977, 1982) ont étudié des conditions d'exposition avec des valeurs de DAS relativement élevées. Ils ont également mesuré des augmentations de température à ces niveaux de DAS (Olsen, 1977). Ils constatent une augmentation des malformations et de la mortalité en cas d'exposition à des CEM RF intenses. Ces effets dépendent du niveau de DAS plutôt que de la dose administrée (Olsen, 1982). Ils observent également un effet de polarisation (Pickard et Olsen, 1979) et procèdent à des essais comparatifs avec une autre méthode de chauffage provoquant la même augmentation de température, mais des effets différents sur la mortalité et le développement (Olsen, 1977).

Études environnementales

Les études sur les invertébrés mentionnées ci-dessus s'appuient sur des dispositifs expérimentaux pour générer une exposition aux CEM RF. Un autre protocole d'étude utilise l'exposition aux CEM RF déjà présente dans l'environnement pour analyser les effets potentiels de cette exposition sur les invertébrés. Pour ce qui est des insectes, cette approche a été décrite pour la première fois dans la publication de Mittler (1977). Les auteurs ont étudié deux groupes de *Drosophila Melanogaster* exposés ou non à une tour de radiodiffusion (100 MHz). Le groupe exposé a été soumis à un champ incident de 0,3 V/m (Mittler, 1977). Aucun effet n'a été observé pour les aberrations génétiques testées. L'exposition du groupe témoin n'a malheureusement pas été mesurée, ce qui signifie que celui-ci pourrait avoir été exposé aux mêmes CEM RF, la radiodiffusion couvrant généralement de vastes zones). L'étude tente cependant d'analyser des scénarios d'exposition réalistes, ce qui s'avère très utile. Pramod et Yogesh (2014) ont d'ailleurs fait appel à un protocole similaire pour étudier l'effet de CEM RF de 900 MHz émis par une station de base sur des colonies d'*Apis Mellifera* (abeilles européennes). Ils ont mis en place trois groupes d'étude: un groupe à la base de la tour (0,35 V/m), un groupe exposé à des téléphones portables (57 V/m pendant les appels), mais à 2 km de la tour (un proxy par utilisateur), et un dernier groupe, utilisé comme témoin, sur un autre site faiblement exposé aux CEM RF (7 mV/m) et sans aucun dispositif. L'étude aurait pu être améliorée par un quatrième groupe en situation d'exposition fictive, et l'exposition générée par les téléphones n'a, de toute évidence, pas pu être contrôlée par les chercheurs. Cela étant, la tentative pour obtenir une exposition réaliste à des champs n'est pas dénuée d'intérêt. La comparaison des trois groupes n'a révélé aucun effet sur le couvain des ruches. Vijver et al. (2014) a étudié plusieurs insectes: les collemboles (*Folsomia Candida*), les punaises prédatrices (*Orius Laevigatus*), les guêpes parasitoïdes (*Asobara Japonica*) et les drosophiles (*Drosophila Melanogaster*). Ceux-ci ont été placés pendant 48 h dans un environnement extérieur couvert par l'antenne d'une station de base émettant à 900 MHz (réseau de télécommunication). L'exposition aux CEM RF a été mesurée sur chacun des sites où des insectes étaient présents. Un groupe témoin protégé a été placé au même endroit, à 2 m des insectes exposés. Les paramètres de reproduction ont été étudiés et aucun effet n'a été observé. Lázaro et al. (2016) ont adopté une autre approche pour leur étude. Au lieu de s'intéresser à une espèce spécifique et d'en mettre des échantillons en situation d'exposition, les auteurs de Lázaro et al. (2016) ont utilisé un piège pour capturer différents types de pollinisateurs sauvages à différentes distances des antennes de la station de base de télécommunication (0,8 et 2,6 GHz) sur deux îles grecques. L'intensité de champ électrique a été mesurée sur chaque site expérimental (mais pas pendant toute la durée de l'expérience) et mise en corrélation avec l'abondance de ces différents groupes de pollinisateurs. Des effets contrastés ont pu être observés en fonction des groupes de pollinisateurs.

Tableau 8 – Études portant sur l'exposition des insectes non vertébrés aux CEM RF (0,4-6 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition fictive	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Apsylia (limace de mer)</i>	1,5-2,45	Ligne microruban. Ganglions disséqués.	Minutes	Échantillon non exposé.	Imprécise	0-50 mW/cm ³	Observation d'un effet sur les décharges neuronales, même en dessous de 10 mW/cm ³ .	Wachtel, Seaman et Joines, 1975
<i>Aplysia Californica (limace de mer)</i>	1,5-2,45	Ligne microruban. Ganglions disséqués.	< 3 min	Échantillon non exposé.	Imprécise	0-80 mW/g	Effet lié à la dose en ce qui concerne les décharges neuronales.	Seaman et Wachtel, 1978
<i>Caenorhabditis Elegans (ver)</i>	0,3 et 0,75	Cellule TEM. Exposition de tout l'organisme.	2-16 h	Groupe témoin non exposé (exposition non mesurée) et groupe témoin protégé.	Non	21-27 dBm de puissance absorbée	Différences au niveau des réactions de stress pour certaines durées d'exposition à 0,75 GHz, mais pas pour d'autres. Les effets étaient davantage prononcés chez les spécimens plus proches de la source.	Daniells et al., 1998
<i>Caenorhabditis Elegans (ver)</i>	1	Cellule TEM. Exposition de tout l'organisme.	2,5 h	Groupe témoin de simulation. Choc thermique également utilisé sur un groupe témoin.	Oui	0,9 -3 mW/kg	Aucune variation systématique dans l'expression du gène de l'ARN sur les cinq répétitions de l'expérience. Le nombre de changements significatifs était inférieur au nombre de faux positifs attendu. Des changements ont pu être observés au niveau du groupe soumis à un choc thermique.	Dawe et al., 2009
<i>Caenorhabditis Elegans (ver)</i>	0,75-1	Cellule TEM. Exposition de tout l'organisme.	20 h	Groupe témoin non exposé (exposition non mesurée) et groupe témoin protégé.	Non	1 mW/kg	L'exposition a entraîné une réaction de choc thermique. Croissance accrue après l'exposition par rapport au groupe témoin. Augmentation du pourcentage d'œufs par rapport au groupe témoin protégé et au groupe témoin soumis à un choc thermique.	de Pomerai et al., 2002
<i>Eiseniafetida (lombric)</i>	0,9	Cellule TEM. Exposition de tout l'organisme.	2-4 h	Groupe témoin non exposé. Il est difficile de savoir s'il s'agissait d'une exposition fictive. L'exposition n'a pas été mesurée.	Imprécise	10-120 V/m	Tous les traitements d'exposition ont entraîné des effets génotoxiques significatifs. Les auteurs en concluent que l'exposition peut provoquer des altérations de l'ADN.	Tkalec et al., 2013

<i>Helix Aspersa</i> (escargot)	2,45	Cavité Exposition des ganglions.	30 ou 60 min	Exposition fictive	Oui	13 mW/g	Des ganglions d'escargot ont été disséqués et exposés. L'exposition aux micro-ondes modifie la conductivité de la membrane (résistance).	Arber et Lin, 1985
<i>Helix Aspersa</i> (escargot)	2,45	Cavité Exposition des ganglions.	30 ou 60 min	Exposition fictive	Oui	7, 13, 14 W/kg	Des ganglions d'escargot ont été disséqués et exposés. L'exposition a été réalisée à des températures différentes (entre 8 et 28 °C). L'exposition de neurones d'escargots à des CEM RF sinusoïdaux pendant 60 min à 12,9 W/kg a inhibé l'activité spontanée et réduit la résistance d'entrée à 8 °C et à 21 °C, mais pas à 28 °C.	Arber et Lin, 1985
<i>Helix Pomatia</i> (escargot)	1,9	Antenne dans une chambre sourde. Exposition de tout l'organisme.	1 h	Groupe témoin en exposition fictive. Traitement en aveugle.	Oui	48 mW/kg [méthode FDTD (<i>Finite-difference time-domain</i>), méthode de calcul de différences finies dans le domaine temporel], 16 V/m (mesure)	Le temps de réaction associé à la rétraction d'une plaque chauffante a été mesuré avant et après l'exposition (fictive, en aveugle). Les escargots exposés étaient moins sensibles à la douleur thermique.	Nittby et al., 2012
<i>Lymnea Stagnalis</i> (escargot)	0,9	Guide d'ondes. Exposition des ganglions.	< 3 min	Groupe témoin non exposé. Il est difficile de savoir s'il s'agissait ou non d'une exposition fictive.	Imprécise	0,5-15 W/kg	Les neurones disséqués dans les ganglions des escargots ont révélé des réponses en rafale en cas d'exposition à des CEM RF pulsés. Un seuil de 0,5 W/kg a été observé pour les signaux pulsés au regard de cet effet. Des différences ont été observées entre les ondes entretenues et les signaux pulsés.	Bolshakov et Aleksseev, 1992

Autres invertébrés

Le Tableau 8 présente la liste des études axées sur l'exposition aux CEM RF des invertébrés n'étant pas des insectes. Une série d'articles (Arber et Lin en 1985, Arber et Lin en 1985, Seaman et Wachtel en 1978 et Wachtel, Seaman et Joines en 1975) s'intéresse aux réactions neuronales en cas d'exposition aux CEM RF au niveau des cellules neuronales des escargots (*Helix Aspersa*) et les mécanorécepteurs des limaces de mer (*Aplysia Californica*). Une augmentation des décharges neuronales en cas d'exposition aux CEM RF a été observée pour les deux types de cellules par rapport à l'exposition fictive du groupe témoin non exposé et les relations dose-effet et/ou les valeurs seuils ont été étudiées. Bolshakov et Alekseev (1992) ont observé des réponses en rafales des neurones dans les ganglions des escargots *Lymnea Stagnalis* exposés à des CEM RF de 900 MHz et se sont intéressés au seuil et à la relation dose-effet de ce phénomène. Nittby et al. (2012) ont étudié l'exposition des escargots *Helix Pomatia* à des CEM RF de 1,9 GHz (16 V/m). Le protocole d'étude utilisé est de grande qualité: exposition fictive, protection en chambre sourde, mesures de l'exposition aux CEM RF et dosimétrie numérique. Les auteurs ont exposé plusieurs escargots à des CEM RF dans une chambre sourde et ont comparé leurs réactions à des températures élevées sur une plaque chauffante avant et après leur exposition. Nittby et al. (2012) ont constaté que les escargots exposés étaient moins sensibles à la douleur thermique que les escargots exposés de manière fictive. L'exposition aux CEM RF des vers *Caenorhabdits Elegans* a été étudiée par Daniells et al. (1998) et de Pomerai et al. (2002). Ils ont observé une réaction de stress chez les animaux exposés et de Pomerai et al. (2002) ont fait état d'une croissance accrue chez les vers après leur exposition (par rapport à un groupe témoin non exposé). L'exposition du groupe témoin n'a pas été vérifiée. Dawe et al. (2009) ont étudié l'exposition de ces mêmes vers à des CEM RF de 1 GHz et comparé l'expression du gène de l'ARN avec celle d'un groupe exposé de manière fictive. Aucun effet de l'exposition n'a été observée, alors qu'un choc thermique a bien entraîné un effet. Tkalec et al. (2013) ont analysé l'exposition du lombric *Eiseniafetida* aux CEM RF dans une cellule TEM et étudié les effets génotoxiques par rapport à un groupe témoin non exposé (dont l'exposition n'a pas été mesurée). Ils en ont conclu que les traitements d'exposition pouvaient entraîner des effets génotoxiques significatifs et qu'une telle exposition était susceptible d'altérer l'ADN.

Études sur les invertébrés à des RF inférieures à 400 MHz

D'autres études, comme Hadjinicolaou (1931), Kadoum, Ball et Nelson (1967), Kadoum (1969), Kadoum Ball et Stetson (1967), Rai et al. (1972, 1971, 1974, 1975, 1977), Tomanova et Vacha (2016) et Vacha, Puzova et Kviclova (2009) se sont également intéressées à l'exposition des invertébrés aux CEM RF, mais plus particulièrement aux basses fréquences du spectre MHz, qui dépasse la portée de cette analyse.

3.1.3. Examen des effets sur les plantes et les champignons

L'analyse bibliographique présentée dans cette section a mis au jour 121 publications sur l'exposition des champignons et des plantes à des CEM RF dans la gamme de fréquences ciblée. Parmi ces publications, 13 ont été classifiées comme des articles de synthèse, trois contenaient uniquement des résultats dosimétriques, huit fournissaient uniquement des informations sur les propriétés diélectriques et 28 ne couvraient pas la morphogenèse des plantes. Le nombre de documents a ainsi été réduit à un ensemble de 69 publications, qui sont examinées dans la présente section. Parmi celles-ci, 31 se concentrent sur le chauffage diélectrique à l'aide de CEM RF, 33 sont des études expérimentales ou de laboratoire et cinq correspondent à des études environnementales ou d'observation.

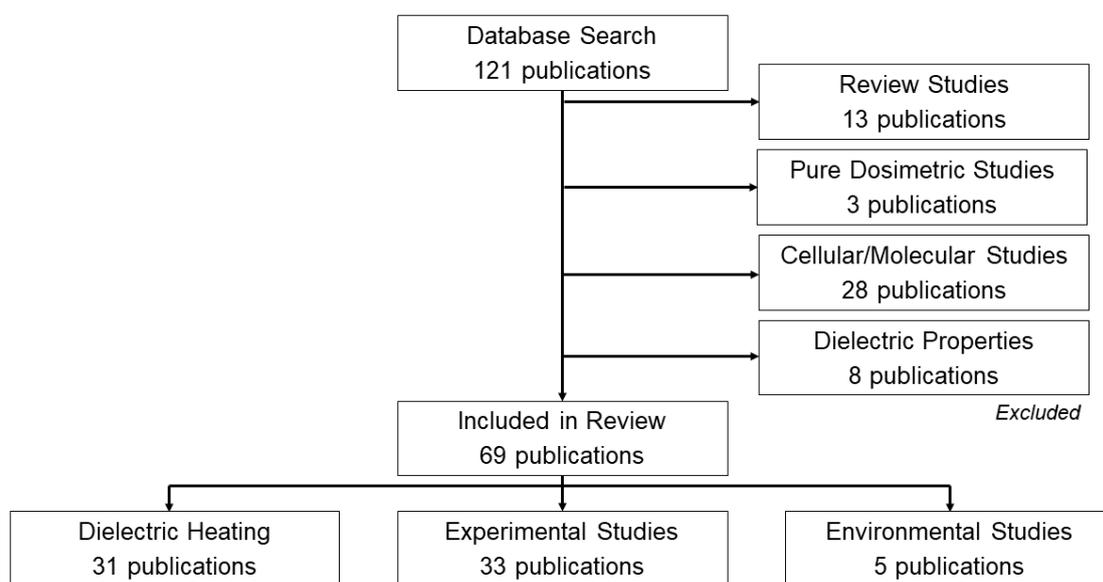


Figure 2 – Organigramme du post-traitement de l'analyse bibliographique sur l'exposition des plantes et des champignons à des CEM RF de basse fréquence

Les paramètres généralement étudiés pour quantifier la morphogenèse des plantes exposées à des CEM RF sont les suivants: longueur de la plante totale, de l'épicotyle, de l'hypocotyle et de la racine (racine); rhizogenèse (nombre et longueur des racines); taux de croissance de la plante totale, de l'épicotyle, de l'hypocotyle et de la racine (racine); (évolution de la) masse sèche et humide des plantes (ou, de manière équivalente, teneur en eau); et taux et rapidité de germination. Un nombre limité d'articles se sont penchés sur le nombre et le niveau des abscissions sur la tige des plantes.

Les études sont réparties en deux groupes: celles qui ont pour but d'étudier les effets thermiques du chauffage à l'aide de CEM RF et celles qui se penchent sur les effets non thermiques de l'exposition aux CEM RF ou, à tout le moins, qui ne visent pas explicitement à chauffer les plantes ou champignons étudiés.

Le Tableau 9 dresse la liste des études consacrées au chauffage des champignons et des plantes à l'aide de CEM RF. Toutes les références figurant dans le Tableau 9 décrivent le chauffage diélectrique de plantes à l'aide de CEM RF à des fréquences inférieures à 6 GHz. Les puissances utilisées dans les études reprises dans le Tableau 9 sont beaucoup plus élevées que celles rencontrées dans l'environnement.

Plusieurs de ces études se penchent sur le traitement par des CEM RF en tant que méthode de lutte contre les organismes nuisibles des fruits, y compris de ceux à coque. Elles se concentrent par conséquent sur la qualité des fruits et des fruits à coque après traitement. La teneur en eau est un aspect important de la qualité des fruits et des fruits à coque. Plusieurs études ont mis en lumière une réduction de la teneur en eau après traitement par des CEM RF de haute puissance (S. Wang, Tang et al., 2002; S. Wang et al., 2007a; Pande, Mishra et Singh, 2012; Mitcham et al., 2004; Pour-El et al., 1981). D'autres, en revanche, n'ont observé aucune modification de la teneur en eau (S. Wang et al., 2010; M. C. Lagunas-Solar et al., 2007). Gao et al. (2010) n'ont observé aucune modification de la teneur en humidité des amandes non décortiquées mais ont constaté une réduction chez les fruits décortiqués. Karabulut et Baykal (2002) ont étudié la perte de masse au fil du temps de pêches non traitées par rapport à des pêches chauffées par des CEM RF et n'ont observé aucune différence sur le plan de la perte de masse dans le temps.

Plusieurs études se sont penchées sur la germination après chauffage par des CEM RF. Nelson et al. ont étudié les pourcentages de germination d'une grande variété de semences après exposition à haute puissance (>100 kV/m) pendant des temps très courts (plusieurs secondes). Une analyse des pourcentages de germination de plusieurs semences après exposition à des CEM RF compris entre 10 MHz et 2 450 MHz a été présentée dans Stuart O. Nelson et LaVerne E. Stetson (1985). Une hausse des pourcentages de germination a été rapportée pour plusieurs types de semence à la suite de traitements par des CEM RF spécifiques sur le plan du temps et de la puissance. Leurs travaux de recherche se sont principalement concentrés sur *Medicago sativa* (luzerne). En résumé, les recherches présentées dans Nelson (1976); S. O. Nelson et al. (1976); Nelson, Kehr, Stetson et Wolf (1977); Nelson, Kehr, Stetson, Stone et al. (1977); S. O. Nelson, L. E. Stetson et W. Benedek, W. Wolf (1984); Nelson et al. (2002); Iritani et Woodbury (1954) font état d'une hausse significative des pourcentages de germination après une brève exposition des semences de luzerne à des CEM RF de très haute puissance. Cependant, ces pourcentages chutent de manière radicale après avoir atteint un point de basculement déterminé, avec pour conséquence une augmentation du nombre de graines vides. Un comportement similaire a été observé dans le cas de *Gossypium hirsutum* (coton) (Stone et al., 1973). D'autres études n'ont mis en évidence aucun effet positif sur la germination. Par exemple, Burk et Nelson (1964) n'ont observé aucune amélioration de la germination de *Nicotiana tabacum* (tabac) après chauffage par des CEM RF de haute puissance. Une vue d'ensemble des effets du chauffage par des CEM RF de haute puissance sur la germination de plusieurs plantes est présentée dans le Tableau 9 (articles soumis à un comité de lecture contenant une description de l'expérience) et dans Stuart O. Nelson et LaVerne E. Stetson (1985). Des études plus récentes menées par d'autres groupes de chercheurs se sont également penchées sur la germination après chauffage par des CEM RF. Vadivambal, Jayas et White (2007) ont étudié du blé après traitement par des CEM RF et ont constaté que les pourcentages de germination diminuent considérablement par rapport au groupe témoin après le traitement et baissent à mesure que la puissance augmente (de 250 à 500 W, traitement < 1 min). S. Wang et al. (2010) n'ont observé aucun effet sur la germination de *Pisum sativum*, *Lens culinaris* et *Cicer arietinum* après chauffage par des CEM RF jusqu'à 60 °C et des temps d'exposition similaires. Sur la base des références ci-dessus et de celles répertoriées dans le Tableau 9, l'on peut conclure que le chauffage par des CEM RF entraîne la mortalité des semences après un certain temps d'exposition à un niveau de puissance déterminé. Cependant, un chauffage par des CEM RF de courte durée peut, dans certains cas, conduire à une augmentation des pourcentages de germination chez certaines plantes.

Enfin, il convient de préciser qu'aucune des études répertoriées dans le Tableau 9 n'a utilisé de groupe témoin de simulation, ce qui pourrait se justifier par les temps d'exposition réduits (de l'ordre de quelques minutes ou secondes) à des intensités très élevées. Par ailleurs, l'exposition du groupe témoin non traité à des CEM RF n'est jamais quantifiée. Cependant, l'on peut raisonnablement supposer que cette exposition était inférieure de plusieurs ordres de magnitude à celle des échantillons traités.

Tableau 9 – Effets du traitement de semences de plantes avec des CEM RF (0,01-6 GHz) dans le but d'appliquer un chauffage diélectrique

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Niveau d'exposition et puissance	Effet du traitement par des CEM RF	Référence
<i>Allium cepa</i> (oignon)	0,01	Électrodes à plaques parallèles	2-10 min	1-2 kV	Les oignons ont affiché une diminution du pourcentage de germination à un niveau de signification de 1 % (5 min d'exposition), mais pas aux autres temps de traitement et amplitudes.	Iritani et Woodbury, 1954
<i>Cicer arietinum</i> (pois chiche)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 7 min	6 kW	Chauffage de 3 kg de légumineuses à 60 °C. Les traitements par RF n'ont pas eu d'influence significative sur la teneur en humidité des trois légumineuses et n'ont pas eu d'incidence sur les pourcentages de germination (entre 90-100 % après l'exposition aux RF).	S. Wang et al., 2010
<i>Fusarium</i> (champignon)	2,45	Four à micro-ondes	0-45 s	800 W	Forte réduction du nombre de semences contaminées par des champignons (< 5 % après 30 s).	Knox et al., 2013
<i>Gossypium hirsutum</i> (coton)	0,04	Inconnu	13-15 s	1,3-3,1 kV/cm	Chauffage jusqu'à 109 °C. Augmentation de la germination jusqu'à 25 s, puis diminution.	Stone et al., 1973
<i>Glycine max</i> (soja)	0,042 et 2,45	Électrodes à plaques parallèles	< 140 s	0,7 kV/cm	Augmentation de la température jusqu'à 200 °C. Le chauffage est plus efficace à 2,45 GHz. Réduction de la teneur en humidité en cas de traitement plus long.	Pour-El et al., 1981
<i>Glycine max</i> (soja)	0,043	Appareil de chauffage diélectrique	< 2 min	0,65 kV/cm	Chauffage jusqu'à 170 °C. Les rats ayant consommé les graines de soja chauffées par RF ont affiché des taux de croissance plus rapides, mais qui n'étaient pas supérieurs à ceux des témoins positifs (soumis à une autre méthode de chauffage).	Borchers et al., 1972
<i>Glycine max</i> (soja)	2,45	Four à micro-ondes	15-60 s	750 W	L'exposition a réduit la germination des semences, la vigueur et la survie du parasite commun.	Reddy et al., 1995
<i>Juglans regia</i> (noyer)	0,027	Inconnu	< 6 min	12 kW	Chauffage jusqu'à 90 °C. Les traitements par radiofréquence réduisent la teneur en humidité des noyers.	Mitcham et al., 2004
<i>Juglans regia</i> (noyer)	0,027 et 0,915	Électrodes à plaques parallèles	< 10 min (27 MHz), < 16 min (915 MHz)	0,5-0,7 kW/g (27 MHz) et 0,33 kW/g (915 MHz)	Chauffage jusqu'à 70 °C. Le chauffage dépend de la fréquence, du niveau de puissance et des configurations.	Wang, J. Tang et al., 2003

<i>Juglans regia</i> (noyer)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 5 min	1 kW/kg	Chauffage des noix jusqu'à 55 °C. Réduction de la teneur en eau après exposition des noix non décortiquées aux RF (pas de diminution pour les noix décortiquées).	S. Wang, Tang et al., 2002
<i>Juglans regia</i> (noyer)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 10 min	< 25 kW	Chauffage des noix jusqu'à 60 °C. Réduction de la teneur en eau des noix, des coquilles et des cerneaux.	S. Wang et al., 2007b; 2007a
<i>Lens culinaris</i> (lentille)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 7 min	6 kW	Chauffage de 3 kg de légumineuses à 60 °C. Les traitements par RF n'ont pas eu d'influence significative sur la teneur en humidité des trois légumineuses et n'ont pas eu d'incidence sur les pourcentages de germination (entre 90-100 % après l'exposition aux RF).	S. Wang et al., 2010
M202 (riz)	3 10 ⁻⁴ , 10 ⁻³ , 0,01, 0,02	Chambre à plaques parallèles	< 5 min	100 W	Chauffage jusqu'à 70 °C. Pas de différence au niveau de la teneur en humidité.	M. C. Lagunas-Solar et al., 2007
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,01	Électrodes à plaques parallèles	2,5 min	Jusqu'à 4,5 kV	Augmentation du pourcentage de germination des graines dures.	Iritani et Woodbury, 1954
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Inconnu	< 8 s	2,4 kV/cm	Chauffage jusqu'à 90 °C. Augmentation des pourcentages de germination par rapport aux témoins non exposés.	Nelson, 1976
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Inconnu	Jusqu'à 32 s	2 kV/cm	Chauffage jusqu'à 109 °C. Augmentation du taux de germination jusqu'à 24 s, puis diminution. Réduction des graines dures.	S. O. Nelson et al., 1976
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Inconnu	11-36 s	1,7 kV/cm	Augmentation de la germination et réduction des graines dures jusqu'à 32 s d'exposition pour les plants normaux, puis réduction.	Nelson, Kehr, Stetson et Wolf, 1977
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Inconnu	≤ 15 s	2,1 kV/cm	Augmentation de la germination et réduction des graines dures jusqu'à 5 s (8 % d'humidité) et 15 s (3 % d'humidité).	Nelson, Kehr, Stetson, Stone et al., 1977
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Électrodes	≤ 50 s	< 2,4 kV/cm	Huit ans et 20 ans après l'exposition, les pourcentages de graines dures ont diminué tant au sein du groupe exposé que du groupe témoin. Chez certains types, une augmentation de la germination a été observée 20 ans après le traitement.	S. O. Nelson, L. E. Stetson et W. W. Wolf, 1984
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	0,039	Appareil de chauffage diélectrique	< 28 s	1,6 kV/cm	Augmentation des pourcentages de germination jusqu'à 18 s, puis diminution. Augmentation de la température jusqu'à 120 °C.	Nelson et al., 2002
<i>Medicago scutellata</i>	0,039 et 2,45	Inconnu	12 s (39 MHz)	Inconnu	Chauffage jusqu'à 84 °C. Pas de modification de la germination.	S. O. Nelson et al., 1976

(luzerne en écusson)			et 50 s (2,45 GHz)			
<i>Medicago truncatula</i> (luzerne tronquée)	0,039 et 2,45	Inconnu	19 s (39 MHz) et 70 s (2,45 GHz)	Inconnu	Chauffage jusqu'à 74 °C. Augmentation du pourcentage de germination et réduction des graines dures.	S. O. Nelson et al., 1976
<i>Melilotus officinalis</i> (mélilot officinal)	0,039	Électrodes	< 30 s	1,2 kV/cm	Chauffage des semences. Pas d'effet positif clair sur les pourcentages de germination en présence d'une humidité normale. Augmentation de la germination des graines séchées.	S. O. Nelson et L. E. Stetson, 1982
<i>Microdochium nivale</i> (champignon)	2,45	Four à micro-ondes	0-45 s	800 W	Forte réduction du nombre de semences contaminées par des champignons (< 5 % après 30 s).	Knox et al., 2013
<i>Nicotiana tabacum</i> (tabac)	0,039	Inconnu	≤ 20 s	< 13 kV/pouce	Chauffage des semences de tabac jusqu'à 270 °F. Réduction des pourcentages de germination à mesure que le temps ou l'exposition aux CEM RF augmente.	Burk et Nelson, 1964
<i>Panax quinquefolius</i> (ginseng américain)	2,45	Chambre	< 200 h	60 W	La teneur en eau des plantes a considérablement diminué après le traitement.	Ren et Chen, 1998
<i>Phaeosphaeria nodorum</i> (champignon)	2,45	Four à micro-ondes	0-45 s	800 W	Forte réduction du nombre de semences contaminées par des champignons (< 5 % après 30 s).	Knox et al., 2013
<i>Phaseolus vulgaris</i> (haricot)	0,01	Électrodes à plaques parallèles	2-10 min	1-2 kV	Pas de modification de la germination jusqu'à 2 kV.	Iritani et Woodbury, 1954
<i>Pisum sativum</i> (pois)	0,01	Électrodes à plaques parallèles	2-10 min	1-2 kV	Pas de modification de la germination jusqu'à 2 kV.	Iritani et Woodbury, 1954
<i>Pisum sativum</i> (pois)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 7 min	6 kW	Chauffage de 3 kg de légumineuses à 60 °C. Les traitements par RF n'ont pas eu d'influence significative sur la teneur en humidité des trois légumineuses et n'ont pas eu d'incidence sur les pourcentages de germination (entre 90-100 % après l'exposition aux RF).	S. Wang et al., 2010
<i>Prunus avium</i> (merisier)	0,915	Chambre à brassage de modes	< 2 min	5 kW	Le noyau de la merise affiche un différentiel de température par rapport à la surface du fruit. Résultats non concluants en ce qui concerne la qualité du fruit.	Ikediala et al., 1999

<i>Prunus dulcis</i> (amandier)	0,027	Électrodes à plaques parallèles	< 12 min	0,75 kW	Les RF chauffent les amandes jusqu'à 63 °C en t < 12 min. Pas de modification de la teneur en humidité des amandes non décortiquées, réduction pour les décortiquées.	Gao et al., 2010
<i>Prunus persica</i> (pêcher)	2,45	Four à micro-ondes	< 2 min	0,4 kW	Chauffage des pêches jusqu'à 60 °C. Pas de modification de la perte de poids au fil du temps.	Karabulut et Baykal, 2002
Saprophytes (champignon)	2,45	Four à micro-ondes	0-45 s	800 W	Forte réduction du nombre de semences contaminées par des champignons (< 5 % après 30 s).	Knox et al., 2013
<i>Sequoia sempervivum</i>	2,45	Chambre	< 3 min	< 0,7 kW	Chauffage des plantes gelées jusqu'à 40 °C. Réduction du taux de récupération des autres plantes en comparaison avec d'autres méthodes de chauffage.	Halmagyi, Surducun et Surducun, 2017
<i>Stylosanthes humilis</i> (luzerne de Townsville)	0,039 et 2,45	Inconnu	18/140 s	Inconnu	Chauffage jusqu'à 98 °C. Augmentation du pourcentage de germination et réduction des graines dures.	S. O. Nelson et al., 1976
<i>Trifolium hirtum</i> (trèfle rose)	0,039 et 2,45	Inconnu	33/210 s	Inconnu	Chauffage jusqu'à 109 °C. Augmentation du pourcentage de germination et réduction des graines dures.	S. O. Nelson et al., 1976
<i>Trifolium subterraneum</i> (trèfle souterrain)	0,039 et 2,45	Inconnu	14/70 s	Inconnu	Chauffage jusqu'à 101 °C. Augmentation du pourcentage de germination et réduction des graines dures.	S. O. Nelson et al., 1976
<i>Trifolium pratense</i> (trèfle violet)	0,01	Électrodes à plaques parallèles	2,5 min	Jusqu'à 4,5 kV	Augmentation du pourcentage de germination des graines dures.	Iritani et Woodbury, 1954
<i>Triticum</i> (blé)	2,45	Séchoir à micro-ondes industriel	28 et 56 s	250, 300, 400 et 500 W	Pas de modification de la qualité du blé après traitement. Réduction considérable des pourcentages de germination en comparaison avec les témoins et à mesure que la puissance augmente.	Vadivambal, Jayas et White, 2007
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	2,45	Four à micro-ondes	0-45 s	800 W	Forte réduction du nombre de semences contaminées par des champignons (< 5 % après 30 s). La germination des semences n'est pas réduite en cas d'exposition < 15 s mais l'est en cas d'exposition > 20 s.	Knox et al., 2013
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	2,45	Four à micro-ondes	30 min	0,3, 0,4, 0,5 ou 0,6 W/g	Réduction des pourcentages de germination. Diminution de la vigueur des semences. Réduction de l'infection par le champignon <i>Fusarium graminearum</i> .	Reddy et al. 1998, 1
<i>Vigna radiata</i>	2,45	Four à micro-ondes	40-80 s	180-900 W	La teneur en humidité dépend de la puissance et de la durée du traitement.	Pande, Mishra et Singh, 2012

Les études de laboratoire qui se penchent sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur les plantes et les champignons autres que le chauffage diélectrique relèvent trois problèmes généraux (voir le Tableau 10): 1) la qualité des groupes témoins et des groupes témoins en exposition fictive, 2) la quantification et la stabilité de l'exposition aux CEM RF, et 3) les interférences entre les effets dus à l'exposition aux CEM RF et d'autres agents (effets thermiques et exposition aux CEM EBF).

De nombreuses plantes étudiées ont besoin d'être exposées à des CEM (lumière) pour développer les paramètres étudiés, ce qui pose un problème particulier pour les expériences d'exposition aux CEM RF portant sur des plantes par rapport aux groupes témoins. Il est difficile de protéger les plantes des CEM RF environnementaux et de les maintenir exposées à la lumière naturelle.

Aucune référence incluant un groupe témoin non exposé (aucune exposition aux CEM RF dans la gamme de fréquences étudiée tout au long de l'expérience) n'a été identifiée. Il s'agit d'un problème majeur dans ce type d'études, car les niveaux des CEM RF utilisés sont proches de ceux présents dans l'environnement. Par conséquent, l'exposition des groupes témoins est beaucoup plus proche de celle des groupes exposés que dans les études consacrées au chauffage diélectrique répertoriées dans le Tableau 9. De plus, bon nombre de ces études ont précisément pour but d'examiner les effets de l'exposition à ces CEM RF environnementaux, ce qui est compliqué sans groupe témoin non exposé. Haggerty (2010) a tenté d'étudier *Populus tremuloides* dans une cage de Faraday mais n'a pas réussi à y quantifier l'exposition. Dans certaines études, un groupe témoin est protégé de la source d'exposition aux CEM RF utilisée pour les recherches, mais pas des autres sources potentielles de CEM RF environnementaux. Magone (1996) a protégé son groupe témoin pendant l'exposition à la source de CEM RF étudiée, mais n'a pas précisé si les plantes étaient protégées des autres sources. La protection n'a pas été vérifiée par des mesures. Schmutz et al. (1996); Skiles (2006); Urech, Eicher et Siegenthaler (1996); Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna et al. (2014) placent leurs groupes témoins dans une zone proche de la source de CEM RF qui est soit protégée, soit délibérément soumise à une exposition limitée.

Étant donné la difficulté de travailler avec un groupe témoin non exposé compte tenu de l'omniprésence des CEM RF environnementaux, une solution consisterait à quantifier l'exposition d'un groupe témoin et à la comparer à un groupe exposé présentant une exposition aux CEM RF clairement différente. Cependant, l'exposition du groupe témoin n'est pas connue dans de nombreuses études répertoriées dans le Tableau 10. Aucune des références mentionnées dans le Tableau 10 n'a mesuré l'exposition du groupe témoin aux CEM RF tout au long de l'expérience. Certaines références contiennent quelques valeurs d'exposition à des CEM RF mesurées instantanément (Schmutz et al., 1996; Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna et al., 2014; Stefi, Margaritis et Christodoulakis, 2017; Skiles, 2006; Urech, Eicher et Siegenthaler, 1996; Stefi et al., 2020) ou simulées (C. Chen, 2014) pour le groupe témoin.

Comme le montre le Tableau 10, de nombreuses expériences n'utilisent pas l'exposition fictive. Les auteurs de Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina (2005; 2007); Tkalec et al. (2009) déclarent avoir procédé à des expériences préliminaires qui «*n'ont mis en évidence aucune différence significative au niveau des taux de croissance des plantes conservées à l'intérieur de la cellule GTEM, mais non reliées au générateur (exposition fictive), et les plantes en dehors de cette cellule*». On ignore toutefois la durée de l'exposition fictive, alors que l'on peut tabler sur un effet significatif de la protection d'une plante contre la lumière visible à l'intérieur de la cellule TEM au bout d'un certain temps. L'exposition du groupe témoin aux CEM RF n'a pas été mesurée dans Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina (2005; 2007); Tkalec et al. (2009). Il est dès lors raisonnable de supposer qu'elle était différente de l'exposition aux CEM RF dans une cellule TEM protégée. Viliche Balint et al. (2016) ont mis au point leur propre dispositif d'exposition aux CEM RF, dans lequel deux chambres identiques sont utilisées pour créer une exposition réelle ou fictive. Cependant, l'exposition n'est jamais quantifiée pour l'exposition fictive. Il y a lieu de noter que dans une étude ultérieure réalisée par le même groupe (Halmagyi, Surducan et Surducan, 2017) sur des plants de séquoias, les auteurs ont observé des différences de longueur des pousses entre l'exposition fictive et un groupe témoin en dehors du dispositif

d'exposition après 30 jours d'exposition fictive. Malheureusement, les auteurs n'ont pas quantifié l'exposition respective pour ces deux groupes. La question de savoir si les effets observés sont dus au placement des plantes dans un dispositif d'exposition ou à l'exposition aux CEM RF elle-même demeure par conséquent ouverte.

Plusieurs références répertoriées dans le Tableau 10 n'ont pas utilisé de groupe témoin. En général, la qualité des groupes témoins dans ce domaine de la recherche est faible. Il convient donc d'interpréter les effets potentiels en gardant à l'esprit cette limitation.

Une solution, utilisée dans certaines études, pour pallier l'absence de groupe témoin et de groupe soumis à une exposition fictive consiste à soumettre des groupes de plantes à différentes doses de CEM RF. L'objectif de ces expériences est de démontrer un effet significatif dans la variation de l'exposition aux CEM RF, plutôt qu'un effet significatif par rapport au groupe témoin. Différentes approches sont utilisées pour produire ces différentes doses: modifications de la durée d'exposition (Jinapang et al., 2010; Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina, 2005; 2007; Y.-P. Chen, Jia et Han, 2009; H. P. Singh et al., 2012; V. P. Sharma et Kumar, 2010; Y.-P. Chen, Jia et Wang, 2009; V. P. Sharma et al., 2009; A. Kumar et al., 2016; Ursache et al., 2009; Talei et al., 2013; Tkalec et al., 2009), modification de la puissance de sortie de la source des CEM RF (Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina, 2005; 2007; Stefi, Margaritis et Christodoulakis, 2017; C. Chen, 2014; Jinapang et al., 2010; Grémiaux et al., 2016; Halgamuge, Yak et Eberhardt, 2015; Tkalec et al., 2009), modification de la distance par rapport à la source des CEM RF (Oluwajobi, Falusi et Zubbair, 2014; Schmutz et al., 1996; Urech, Eicher et Siegenthaler, 1996; Ellingsrud et Johnsson, 1993).

L'exposition aux CEM RF pendant l'expérience elle-même est quantifiée ou, à tout le moins, estimée dans la plupart des études publiées. Cependant, presque aucune des études répertoriées dans le Tableau 10 ne présente les mesures de l'exposition aux CEM RF des plantes étudiées avant l'expérience ou durant les phases de l'expérience où les plantes ne sont pas dans le dispositif d'exposition. Certaines études présentent les valeurs mesurées en un seul instant ou en un nombre limité d'instant (Urech, Eicher et Siegenthaler, 1996; Skiles, 2006; Magone, 1996; Waldmann-Selsam et al., 2016; Khalafallah et Sallam, 2009). Étant donné qu'il a été démontré que les CEM RF environnementaux varient de manière significative dans le temps (Bolte et Eikelboom, 2012; P. Frei et al., 2009; Thielens, Van den Bossche et al., 2018; Velghe et al., 2019a; Vermeeren et al., 2013), l'exposition aux CEM RF devrait idéalement être quantifiée en fonction du temps lors d'une expérience.

L'échauffement diélectrique est un effet clairement établi de l'exposition aux CEM RF (voir le Tableau 9). De ce fait, le matériel biologique exposé aux CEM RF chauffe si le flux d'énergie RF en entrée est supérieur au flux en sortie. Par conséquent, on ne peut exclure des effets thermiques dans de nombreuses expériences. Urech, Eicher et Siegenthaler (1996) ont réalisé une expérience dans laquelle deux types de lichen ont été exposés à des CEM RF à une fréquence de 2,45 GHz ou 9,5 MHz. Des effets sur le taux de croissance ont été observés dans le cas de l'exposition élevée aux CEM RF (2,45 GHz). Cependant, il a également été démontré que cette exposition induit une hausse significative de la température, qui pourrait expliquer les modifications du taux de croissance. Par ailleurs, aucun effet n'a été observé à la fréquence de 9,5 MHz, à laquelle aucun chauffage thermique efficace n'était attendu. Par conséquent, la plupart des études ultérieures sur le terrain ont introduit un contrôle de la température dans leurs expériences. Il est évident qu'exposer des plantes aux CEM RF de forte intensité que l'on rencontre dans les fours à micro-ondes entraînera un élévation de température notable. Das, Kumar et Shah (2013a) proposent une analyse d'études qui se penchent sur le traitement de plantes avec des CEM RF à des fins de lutte contre les organismes nuisibles. Plusieurs de ces études examinent les taux de germination et de croissance des plantes après exposition à des CEM RF de très forte intensité et constatent des réductions majeures de ces paramètres à des intensités élevées (Das, Kumar et Shah, 2013a). Cependant, des CEM RF d'une intensité aussi élevée sont extrêmement rares en dehors des applications de traitement par micro-ondes.

Le Tableau 10 dresse la liste des effets sur la morphogénèse observés dans le cadre de cette analyse. Ce paragraphe présente les effets autres que l'échauffement diélectrique mis en évidence par diverses études en comparaison avec un groupe témoin et un groupe en exposition fictive, et dans le cadre desquelles l'exposition aux CEM RF du groupe exposé et du groupe témoin ou en exposition fictive a été mesurée ou quantifiée à au moins un instant dans le temps [13 études, dont Urech, Eicher et Siegenthaler (1996)]. Les effets observés dans les études dépourvues de groupe témoin et de groupe témoin en exposition fictive, ou n'ayant pas quantifié l'exposition de ces groupes, ne sont pas abordés dans ce paragraphe. Halgamuge, Yak et Eberhardt (2015) ont étudié *Glycine max* (soja) exposé à 900 MHz dans une cellule TEM pendant une durée courte (2 heures à 5,7 ou 41 V/m) et longue (5 jours à 0,57 V/m). Ils ont observé des effets sur la longueur de l'épicotyle, de l'hypocotyle ou des racines, selon le niveau et la durée de l'exposition par rapport à l'exposition fictive. Aucune augmentation de la température n'a en revanche été constatée. Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina (2005; 2007) ont étudié l'exposition de *Lemna minor* (petite lentille d'eau) dans une cellule TEM à des CEM RF à 400 et 900 MHz d'une intensité relativement élevée (> 10 V/m) pendant des durées d'exposition relativement courtes (< 4 h pour la plupart des conditions d'exposition, jusqu'à 14 h dans un cas). Ils ont observé certains effets significatifs sur la croissance à certaines fréquences à des niveaux d'exposition spécifiques, sans que ces effets soient constants à toutes les fréquences et intensités d'exposition. Ces effets dépendent également du nombre de jours écoulés après l'exposition. La teneur en eau a augmenté pour toutes les conditions d'exposition à 900 MHz, hormis une. La dose de 400 MHz a fait apparaître une hausse de la teneur en eau, ainsi que quelques différences non significatives, selon le niveau et la durée d'exposition. Le même groupe s'est également intéressé à la croissance des racines des oignons (*Allium cepa*) dans des conditions d'exposition identiques (Tkalec et al., 2009), mais les effets sur la croissance n'étaient pas systématiques. Schmutz et al. (1996) ont étudié les propriétés de *Picea abies* (épicéa) et de *Fagussilvatica* (hêtre) exposés à une antenne à cornet à 2,45 GHz sur une période relativement longue (3 ans). Ils n'ont observé aucun effet sur le poids sec des aiguilles par branche ni sur la hauteur des plants après 3 ans d'exposition. Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna et al. (2014) ont observé une réduction des taux de croissance à petite échelle de *Myriophyllum aquaticum* (myriophylle) en cas d'exposition à court terme (1 heure) à des CEM RF de 2 GHz. Stefi, Margaritis et Christodoulakis (2017) ont étudié des plants de *Zea mays* (maïs) exposés à une station de base DECT opérant à 1,8 GHz pendant 2 semaines à deux niveaux différents: une exposition moyenne (0,49 V/m) et une exposition élevée (27 V/m). Les plantes exposées à des CEM RF plus élevés n'ont pas été affectées sur le plan du potentiel de germination, de la production de biomasse et de la structure des feuilles en comparaison avec l'autre groupe. L'auteur a également étudié des lauriers-roses dans la même configuration d'exposition (Stefi et al., 2020) et a observé une augmentation de la biomasse des plantes exposées. Skiles (2006) a étudié des plantes *Medicago sativa* exposées à des CEM RF émis par une antenne à cornet de 2,45 GHz pendant 7 semaines et n'a constaté aucune différence significative entre les poids frais et sec des groupes exposés et témoins. Bertrand et al. (2018) ont exposé une culture de levure à des CEM RF dans une chambre réverbérante pendant une courte durée (< 1,5 minute) et n'ont observé aucun effet sur les taux de croissance. Viliche Balint et al. (2016) ont exposé des haricots *Phaseolus vulgaris* pendant huit jours à des CEM RF à 950 MHz et les ont comparés à un groupe témoin de simulation cultivé dans des conditions identiques. Le groupe exposé a affiché une augmentation de la longueur, de la germination et du poids sec. Ellingsrud et Johnsson (1993) ont étudié les vibrations mécaniques chez *Codariocalyx motorius* avant et après une exposition à des CEM RF relativement élevés et ont observé une altération du rythme des plantes à la suite de cette exposition. Il n'a cependant pas été possible de déterminer s'il s'agit d'un effet thermique ou non.

Deux études ont examiné des plantes exposées à des CEM RF environnementaux. Balodis et al. (1996) ont étudié la croissance de *Pinus silvestris* (pin) pendant plusieurs années dans une région où une installation radar a été construite pendant la période d'observation. Une corrélation négative a été observée entre l'augmentation relative de la croissance des pins et l'intensité perçue de

l'exposition aux CEM RF causée par le système radar. Cependant, l'article ne contient pas de mesures de l'exposition, en particulier pour le groupe témoin. Magone (1996) a étudié une culture de *Spirodela polyrhiza* à proximité d'une installation radar sur une période de 5 jours. Il a observé des effets à long terme, y compris sur la génération suivante de plantes. Bien que l'étude utilise deux types différents de groupes témoins, elle ne présente pas les mesures de l'exposition des témoins, de sorte qu'il est difficile d'attribuer des effets à l'exposition aux CEM RF. Waldmann-Selsam et al. (2016) ont étudié un vaste ensemble d'arbres en Allemagne et ont procédé à des mesures étendues de l'exposition aux CEM RF. La méthode de sélection des arbres étudiés soulève toutefois des questions et aucun groupe témoin approprié n'est inclus. L'article propose une vue d'ensemble de l'exposition des arbres aux CEM RF dans un environnement urbain. Haggerty (2010) a comparé un ensemble très limité de *Populus tremuloides* cultivés dans des conditions protégées, protégées simulées et exposées. Enfin, M. Cammaerts et Johansson (2015) ont étudié des *Lepidium sativum* exposés à une antenne de station de base opérationnelle mais n'ont pas fait de comparaison avec des plantes non exposées. Toutes ces études souffrent de la qualité médiocre des groupes témoins et/ou de l'absence de quantification adéquate de l'exposition. Elles mettent toutefois en lumière des options intéressantes pour les recherches portant sur la faune et la flore exposées aux CEM RF dans leur environnement naturel à des niveaux d'exposition réels, lesquels sont très difficiles à reproduire en laboratoire.

Cinq études antérieures spécifiquement dédiées à l'analyse des effets de l'exposition des plantes aux CEM RF ont été identifiées (Alain Vian et al., 2016; Halgamuge, 2017; Ribeiro-Oliveira, 2019; Czerwiński et al., 2020; Halgamuge et Davis, 2019). Elles présentent une vue d'ensemble des études portant sur la morphogenèse des plantes, mais également sur l'expression génique, les modifications potentielles des molécules ou le niveau cellulaire. Certaines études sur l'exposition de la faune et de la flore aux CEM RF couvrent également les plantes (Balmori, 2009; 2014; Cucurachi et al., 2013; Diprose, Benson et Willis, 1984; Malkemper et al., 2018). Cette analyse bibliographique ne s'est pas concentrée sur les publications consacrées aux effets cellulaires, moléculaires ou fonctionnels chez les plants de champignons. La recherche dans la base de données a mis au jour 28 publications soumises à un comité de lecture sur ces thèmes (Barsoum et Pickard, 1982; Beaubois et al., 2007; Y.-P. Chen, 2006; Engelmann, 2008; Gustavino et al., 2016; Haider et al., 1994; Jangid et al., 2010; Kouzmanova et al., 2009; Liu, Garber et Cleary, 1982; Qiu et al., 2013; Radic et al., 2007; Rammal et al., 2014; Roux, Vian et al., 2008; Roux et al., 2006; Sandu et al., 2005; Selga et Selga, 1996; M. D. H. J. Senavirathna et Asaeda, 2014; Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna, Takashi et Kimura, 2014; Soran et al., 2014; Vela, Wu et Smith, 1976; A. Vian et al., 2006; Alain Vian et al., 2007; Zareh, 2015; Roux, Faure et al., 2008; Qureshi et al., 2017; Chandel et al., 2019a; 2019b; Friedman et al., 2007).

Tableau 10 – Vue d'ensemble des études examinant les effets de l'exposition à des CEM RF sur la morphogénèse des plantes dans la gamme de fréquences inférieure étudiée

Espèces de plantes	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Allium cepa</i> (oignon)	0,4 et 0,9	Cellule TEM	2 ou 4 h	L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Incertain	10, 23, 41, 120 V/m	Pas d'effet systématique sur la croissance des racines et certaines aberrations mitotiques ont été observées.	Tkalec et al., 2009
<i>Antirrhinum majus</i> (muflier)	0,2	Antenne dipôle	4, 12, 44 h	Témoins non exposés	Non	1,5 V/m (non mesuré)	Faible viabilité des plants qui se sont développés à partir des fleurs exposées (deuxième génération).	Harte, 1975
<i>Codariocalyx motorius</i> (sainfoin oscillant)	0,03	Cellule TEM	< 400 s	Comparaison du rythme avant et après l'exposition et témoins non exposés.	Non	< 0,6 W/cm ²	Effets sur le rythme des folioles. Température non surveillée, de sorte qu'il pourrait s'agir d'un effet thermique.	Ellingsrud et Johnsson, 1993
<i>Daucus sativus</i> Röhl (carotte)	2,6	Guide d'ondes avec signal pulsé.	10 min	Les témoins étaient des semences non traitées. Leur exposition n'a pas été mesurée.	Non	241 kV/m	L'exposition a réduit la germination des semences de carottes.	Radzevičius et al., 2013
<i>Fagus silvatica</i> (hêtre)	2,45	Antenne à cornet	3 ans et 7 mois	Les témoins ont été exposés à 0,07 W/m ² .	Oui	1-300 W/m ² (exposé)	Pas d'effet sur la hauteur après 3 ans d'exposition.	Schmutz et al., 1996

<i>Glycine max (soja)</i>	0,9	Cellule TEM. Ondes entretenues et modulation GSM.	2 heures	L'exposition des témoins en dehors de la cellule TEM n'a pas été déterminée.	Les témoins sont exposés de manière fictive dans la cellule TEM.	5,7 ou 41 V/m	Inhibition de la croissance de l'épicotyle (GSM) et des racines (ondes entretenues) pour la simulation à un niveau d'exposition supérieur. L'effet est fonction de la modulation. À 5,7 V/m, seule une croissance réduite de l'hypocotyle est observée par rapport au groupe de simulation en ce qui concerne le signal des ondes entretenues. Pas de hausse de la température.	Halgamuge, Yak et Eberhardt, 2015
<i>Glycine max (soja)</i>	0,9	Cellule TEM. Modulation GSM	5 jours	L'exposition des témoins en dehors de la cellule TEM n'a pas été déterminée.	Les témoins sont exposés de manière fictive dans la cellule TEM.	0,56 V/m	La croissance de l'épicotyle et de l'hypocotyle a été réduite. La croissance des racines a été stimulée. Aucune hausse de la température n'a été relevée. Test non paramétrique, niveau de signification de 5 %.	Halgamuge, Yak et Eberhardt, 2015
<i>Glycine max (soja)</i>	1,8	Phytotron (100 × 60 × 50 cm ³)	Exposition intermittente de 24 h ou 4 h.	Témoins placés dans un phytotron séparé avec moins de mesures de la température.	Non	4,8 ou 14,5 W/m ²	La hauteur et le poids frais du soja ne présentaient pas de différence. La germination était différente en cas de traitement par des CEM RF. Aucune hausse de la température n'a été mesurée par rapport aux témoins.	C. Chen, 2014

<i>Hibiscus sabdariffa</i> (oseille rouge)	s.o.	Champ résultant d'une antenne de base GSM.	30 jours	Aucune mesure de l'intensité des CEM RF n'a été effectuée pour le groupe témoin.	Non	0,4 à 1,1 V/m (mesure de la bande large)	Réduction de l'abscission des boutons floraux par rapport aux témoins.	Oluwajobi, Falusi et Zubair, 2014
<i>Hypogymnia physodes</i> (lichen/champignon)	2,45 et 0,01	Antenne à cornet à 2,45 GHz. Antenne dipôle à 0,01 GHz.	0, 300, 550 et 800 jours d'exposition (2,45 GHz).	L'exposition des témoins a été répertoriée.	Oui	2, 50 et 500 W/m ² (2,45 GHz). 235 V/m (9,5 MHz)	Réduction substantielle du taux de croissance à 500 W/m ² (2,45 GHz). Il n'a pas été possible de différencier les effets thermiques et non thermiques. Aucun effet à 9,5 MHz. Aucun effet thermique n'est par ailleurs attendu.	Urech, Eicher et Siegenthaler, 1996
<i>Ipomoea aquatica</i> (liseron d'eau)	0,425	Cellule TEM	1 h, 2 h et 4 h	Les témoins n'ont jamais été placés dans la cellule TEM. L'exposition des témoins n'a pas été surveillée.	Non	Puissance d'entrée de 1 mW, 100 mW et 10 W dans la cellule TEM.	Stimulation de la croissance des racines et longueur totale des plants différente à un niveau de puissance de 1 mW et une durée de 2 h, pas aux autres niveaux.	Jinapang et al., 2010
<i>Lablab Purpureus</i> (dolique pourpre)	1,8	Phytotron (100 × 60 × 50 cm ³)	Exposition intermittente de 24 h ou 4 h.	Témoins placés dans un phytotron séparé avec moins de mesures de la température.	Non	4,8 ou 14,5 W/m ²	La hauteur et le poids frais ont diminué lors du traitement par des CEM élevés, mais pas avec de faibles CEM (données non incluses dans l'article). La germination est restée inchangée lors du traitement par des CEM RF.	C. Chen, 2014

<i>Lemna minor (petite lentille d'eau)</i>	0,4, 0,9, 1,9	Cellule TEM.	2 h à 23, 41 et 390 V/m. 4 h à 23 V/m. 14 h à 10 V/m	L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Incertain	10, 23, 41 et 390 V/m	Certains effets significatifs sur la croissance pour certaines fréquences à des niveaux d'exposition spécifiques, sans que ces effets soient constants à toutes les fréquences et intensités d'exposition. Les effets dépendent également du nombre de jours écoulés après l'exposition.	Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina, 2005
<i>Lemna minor (petite lentille d'eau)</i>	0,4 et 0,9	Cellule TEM	2 ou 4 h (uniquement à 23 V/m).	L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Incertain	10, 23, 41 et 120 V/m	La teneur en eau a augmenté pour toutes les conditions d'exposition à 900 MHz, excepté l'exposition pendant 4 heures. La dose de 400 MHz a fait apparaître une hausse de la teneur en eau, ainsi que quelques différences non significatives, selon le niveau et la durée d'exposition.	Tkalec, Malaric et Pevalek-Kozlina, 2007
<i>Lens culinaris (lentille)</i>	1,8	Deux téléphones mobiles placés à 2,2 cm de chaque côté d'une boîte de Petri. Les plantes ont également été exposées au son.	48 h	Le groupe témoin a été exposé à des CEM RF de fond mais ne l'a pas été au son des téléphones mobiles.	Non	Les auteurs font état d'une puissance de sortie de 1 mW, mais celle-ci n'a pas été vérifiée.	Le taux de germination n'a pas été affecté dans les conditions d'exposition spécifiées, mais la croissance des racines a diminué lors de l'exposition pendant la phase dormante. À noter toutefois qu'aucun détail n'a été fourni sur les tests statistiques.	Akbal et al., 2012

<i>Linum usitatissimum</i> (lin)	0,9	Téléphone mobile	2 h	Les témoins étaient des semences non traitées. Leur exposition n'a pas été mesurée.	Non	Inconnu	Augmentation de la production des méristèmes épidermiques dans l'hypocotyle. La réponse aux CEM RF se situe entre les témoins et le choc thermique.	Marc Tafforeau et al., 2002
<i>Medicago sativa</i> (luzerne)	2,45	Antenne à cornet avec réflecteur	7 semaines	D'après l'article, l'exposition mesurée des plantes témoins était de zéro.	Oui	5-12 W/m ²	Il n'y a pas de différence significative entre les plantes traitées et les témoins en ce qui concerne les poids frais et sec.	Skiles, 2006
<i>Molaga bean</i>	1,8	Phytotron (100 × 60 × 50 cm ³)	Exposition intermittente de 24 h ou 4 h.	Témoins placés dans un phytotron séparé avec moins de mesures de la température.	Non	4,8 ou 14,5 W/m ²	Les effets des CEM sur le taux de germination, le poids frais et la hauteur n'étaient pas constants. Aucune hausse de la température n'a été mesurée par rapport aux témoins.	C. Chen, 2014
MR 219 (variété de riz)	2,45	Enceinte blindée avec antenne dipôle.	1, 4, 7 et 10 heures, 6 jours	L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Non	Puissance d'entrée de 1,58 mW	L'exposition de 10 heures a donné le pourcentage de germination le plus élevé et un temps de germination plus court. La longueur des racines et des pousses était également plus importante. Une hausse de la température pendant cette étude pourrait expliquer ces effets.	Talei et al., 2013

<i>Myriophyllum Aquaticum (myriophylle)</i>	2	Dans un environnement blindé, exposé à une antenne à plaque.	1 h	Exposition non mesurée au fil du temps.	Oui	1,42 W/m ²	Réduction statistiquement significative de 51 ± 16 % de l'écart standard de la fluctuation de la vitesse d'élongation à l'échelle nanométrique, un paramètre qui influence la croissance.	Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna et al., 2014
<i>Nerium oleander (laurier rose)</i>	1,9	Station de base d'un téléphone DECT	2 semaines	Exposition des témoins de 0,5 V/m.	Non	2,85 V/m	Augmentation de la biomasse des tiges et des racines des plantes exposées.	Stefi et al., 2020
<i>Parmeliu filiucea (lichen/champignon)</i>	2,45 et 0,01	Antenne à cornet à 2,45 GHz. Antenne dipôle à 0,01 GHz.	0, 300, 550 et 800 jours d'exposition (2,45 GHz).	L'exposition des témoins a été répertoriée.	Oui	2, 50 et 500 W/m ² (2,45 GHz). 235 V/m (9,5 MHz)	Réduction substantielle du taux de croissance à 500 W/m ² (2,45 GHz). Il n'a pas été possible de différencier les effets thermiques et non thermiques. Aucun effet à 9,5 MHz. Aucun effet thermique n'est par ailleurs attendu.	Urech, Eicher et Siegenthaler, 1996
<i>Phaseolus vulgaris (haricot rouge)</i>	1,8	Phytotron (100 × 60 × 50 cm ³)	24 h ou 4 h d'exposition intermittente.	Témoins placés dans un phytotron séparé avec moins de mesures de la température.	Non	4,8 ou 14,5 W/m ²	La hauteur et le poids frais n'ont pas changé lors de l'exposition intermittente de 24 h, tandis que le taux de germination a diminué. En revanche, l'exposition intermittente de 4 h n'a pas eu d'incidence sur le taux de germination. Aucune hausse de la température n'a été mesurée par rapport aux témoins.	C. Chen, 2014
<i>Phaseolus vulgaris (haricot rouge)</i>	0,95	Dispositif conçu sur mesure.	8 jours	L'exposition des témoins n'a pas été quantifiée.	Oui	3,8 mW/m ²	Le taux de germination, la longueur des tiges et des racines ainsi que le pourcentage de matière sèche sont plus élevés dans le groupe exposé.	Viliche Balint et al., 2016

<i>Piceu abies (épicéa)</i>	2,45	Antenne à cornet	3 ans et 7 mois	Les témoins ont été exposés à 0,07 W/m ²	Oui	1-300 W/m ² (exposé)	Aucun effet sur le poids sec des aiguilles par longueur de branche. Pas d'effet sur la hauteur après 3 ans d'exposition.	Schmutz et al., 1996
<i>Pisum sativum (pois)</i>	Inconnu	Deux téléphones mobiles ont été placés au «milieu» d'un tas de semences.	½ h, 1 h, 2 h, 4 h et 8 h.	Aucune mesure de l'exposition des témoins.	Non	Inconnu	La germination, la longueur, le poids sec et frais ainsi que la teneur en eau ont été étudiés et les auteurs ont rapporté certains résultats significatifs à l'aide d'ANOVA. Cependant, l'analyse des résultats a montré que les résultats présentés comme significatifs ne l'étaient clairement pas. Le niveau de signification n'est pas précisé.	S. Sharma et Parihar, 2014
<i>Rosa hybrida (rosier)</i>	0,9	Chambre réverbérante à brassage de modes	30 min. Les expositions ont été soit uniques (200 V/m), soit répétées à 3 reprises, à raison d'une fois toutes les 48 h (5 V/m).	Les témoins n'ont pas été protégés des CEM RF. L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Non	5 ou 200 V/m	Croissance retardée ou réduite des axes secondaires pour l'exposition de faible amplitude (5 V/m), pas pour celle de forte amplitude.	Grémiaux et al., 2016
<i>Saccharomyces cerevisiae (levure)</i>	0,9 et 2,45	Chambre réverbérante à brassage de modes	94 s	L'exposition des témoins n'est pas connue.	Oui	6,1 V/m (0,9 GHz) et 3,44 V/m (2,45 GHz)	Pas d'effet sur la croissance	Bertrand et al., 2018

<i>Sequoia sempervivum</i>	2,44	Dispositif conçu sur mesure.	≤ 40 jours	Groupe témoin et groupe témoin de simulation. L'exposition des témoins n'a pas été quantifiée.	Oui	51 V/m	Augmentation de la longueur des pousses et des racines après 40 jours d'exposition aux CEM RF. Cependant, les longueurs des pousses des témoins de simulation sont également différentes des témoins.	Halmagyi, Surducan et Surducan 2017
<i>Trigonella foenum-craecum (fenugrec)</i>	Inconnu	Deux téléphones mobiles ont été placés au «milieu» d'un tas de semences.	½ h, 1 h, 2 h, 4 h et 8 h.	Aucune mesure de l'exposition des témoins.	Non	s.o.	La germination, la longueur, le poids sec et frais ainsi que la teneur en eau ont été étudiés et les auteurs ont rapporté certains résultats significatifs à l'aide d'ANOVA. Cependant, l'analyse des résultats a montré que les résultats présentés comme significatifs ne l'étaient clairement pas. Le niveau de signification n'est pas précisé.	S. Sharma et Parihar, 2014
<i>Triticum aestivum (blé tendre)</i>	0,9	Un téléphone cellulaire en charge a été placé au milieu d'un tas de semences. Exposition à des CEM EBF.	72 heures d'exposition	Exposition non mesurée et pas d'exposition aux EBF.	Non	s.o.	Les auteurs font état d'une réduction significative de la croissance, des poids frais et sec ainsi que de la teneur en eau relative. Cependant, les résultats du test (ANOVA) n'ont pas été fournis.	Afzal et Mansoor, 2012
<i>Triticum aestivum (blé tendre)</i>	2,45	Four à micro-ondes	Exposition pendant 0, 5, 10, 15, 20 et 25 s	Aucune mesure de l'exposition pour les témoins.	s.o.	s.o.	Différence significative de hauteur et de biomasse des plants entre les groupes témoins et les groupes passés au four à micro-ondes.	Y.-P. Chen, Jia et Han, 2009

<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	2,45	Four à micro-ondes	Exposition pendant 0, 5, 10, 15, 20 et 25 s	Aucune mesure de l'exposition pour les témoins.	s.o.	s.o.	Différence significative de hauteur des plants et de longueur des racines jusqu'à des temps de traitement de 20 s. Aucune différence entre les témoins et le groupe exposé pendant 25 s.	Y.-P. Chen, Jia et Wang, 2009
<i>Vigna radiata</i> (ambérique)	0,9	Chambre blindée (47,5 × 27 × 17,5 cm) avec deux téléphones cellulaires.	Temps d'exposition de 0,5 h, 1 h ou 2 h.	Les témoins ont été placés dans la chambre pendant la même durée que les plantes exposées, mais sans les téléphones cellulaires. L'exposition des témoins n'a pas été mesurée. Les témoins n'ont pas été protégés pendant la durée de l'expérience.	Non	5,7 V/m	Réduction de la rhizogenèse (nombre et longueur des racines) par rapport aux témoins. Tendance significative liée au temps d'exposition. Il n'a pas été possible de comparer les temps d'exposition, car les plantes ne sont pas restées le même temps total dans la chambre.	H. P. Singh et al., 2012

<i>Vigna radiata</i>	0,9	Chambre soigneusement blindée (47,5 × 27 × 17,5 cm) avec deux téléphones mobiles en charge. D'où la présence d'une exposition à des CEM EBF.	Exposition pendant 1/2, 1, 2 ou 4 h	Les témoins ont été placés dans une autre chambre (peut-être non blindée) pendant une durée non divulguée. L'exposition des témoins n'a pas été mesurée. Les témoins n'ont pas été exposés à des CEM EBF.	Non	5,7 V/m	Réduction de la longueur des radicules et des plumules, ainsi que du poids sec des plants. Ces réductions montrent une dépendance vis-à-vis du temps d'exposition. Il n'a pas été possible de comparer les temps d'exposition, car les plantes ne sont pas restées le même temps total dans la chambre.	V. P. Sharma et al., 2010; V. P. Sharma, Singh et Kohli, 2009; V. P. Sharma et al., 2009
<i>Vigna radiata</i>	0,9	Un téléphone cellulaire a été placé au milieu d'un tas de semences. Exposition à des EBF.	72 heures d'exposition	Les témoins n'ont pas été exposés à des CEM EBF. L'exposition des témoins n'a pas été déterminée.	Non	Inconnu	Les auteurs font état d'une réduction significative de la croissance, des poids frais et sec ainsi que de la teneur en eau relative. Cependant, les résultats du test n'ont pas été fournis.	Afzal et Mansoor, 2012
<i>Vigna radiata</i>	0,425	Cellule TEM	1 h, 2 h et 4 h	Les témoins n'ont jamais été placés dans la cellule TEM. L'exposition des témoins n'a pas été surveillée.	Non	Puissance d'entrée de 1 mW, 100 mW et 10 W dans la cellule TEM	Augmentation de la longueur totale des plants à 100 mW et dans le cas d'une exposition d'1 h.	Jinapang et al., 2010

<i>Vigna radiata</i>	1,8	Phytotron (100 × 60 × 50 cm ³)	Exposition intermittente de 24 h ou 4 h.	Témoins placés dans un phytotron séparé avec moins de mesures de la température.	Non	4,8 ou 14,5 W/m ²	Réduction de la hauteur dans certaines conditions d'exposition (pas toutes). La germination est restée inchangée lors du traitement. Pas de modification du poids.	C. Chen, 2014
<i>Zea mays (maïs)</i>	1	Cellule TEM	1 à 8 h	Pas de témoins	Non	Puissance d'entrée de 11,5 W	Réduction de la croissance des plantes âgées de 12 jours. Il n'a pas été possible de comparer les temps d'exposition, car les plantes ne sont pas restées le même temps total dans la chambre.	Răcuci, 2015
<i>Zea mays (maïs)</i>	1,8	Cage de Faraday	½ h, 1 h, 2 h et 4 h.	L'exposition des témoins n'a pas été mesurée.	Non	332 mW/m ² (mesuré)	Diminution de la croissance des racines et des coléoptiles. Il n'a pas été possible de comparer les temps d'exposition, car les plantes ne sont pas restées le même temps total dans la chambre.	A. Kumar et al., 2016
<i>Zea mays (maïs)</i>	0,9 et 2,45	Cellule TEM ou four à micro-ondes	24 h (0,9 GHz) ou 5 s (2,45 GHz)	L'exposition du groupe témoin n'a pas été déterminée. Le groupe témoin n'était pas protégé.	Non	900 MHz, 2,2 V/m. 2,45 GHz, puissance d'entrée de 800 W	Les résultats concernant la longueur des plantes dépendaient de la modulation. L'exposition thermique de courte durée à 2,45 GHz n'a montré aucune différence au niveau de la longueur des plantes par rapport aux témoins.	Răcuci, Miclăuș et Creangă, 2008
<i>Zea mays</i>	1,9	Station de base d'un téléphone DECT	2 semaines	Exposition des témoins de 0,5 V/m	Non	27,5 V/m	Les plantes exposées n'ont pas été affectées sur le plan du potentiel de germination, de la biomasse et de la structure des feuilles.	Stefi, Margaritis et Christodoulakis, 2017

<i>Zea mays</i>	0,418	Cellule TEM	1, 2, 4, 12 heures	Non	Non	6 W/m ²	Aucune influence sur la substance fraîche ou sèche.	Ursache et al., 2009
<i>Zea mays</i>	0,935- 0,960	Antenne de station de base	4 semaines	Les plantes témoins ont été cultivées à l'écart de la station mobile. Leur exposition n'est pas connue.	Non	0,7 et 1,5 W/m ²	Aucune modification du pourcentage de germination après 8 jours. Les témoins affichent le taux de croissance le plus faible (cm ² /semaine). Des modifications de l'épaisseur des feuilles ont été observées.	Khalafallah et Sallam, 2009

3.2. Fréquences de télécommunication supérieures (6-300 GHz)

3.2.1. Examen des effets sur les vertébrés

L'analyse bibliographique présentée dans cette section a mis au jour 140 publications concernant l'exposition de vertébrés ou de cultures cellulaires provenant de vertébrés à des CEM RF dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz. Parmi ces publications, 18 études seulement ont parcouru la littérature, six seulement ont présenté des résultats dosimétriques, cinq seulement ont communiqué les propriétés diélectriques des vertébrés, une seule a décrit le radar utilisé pour la détection des vertébrés et une seule a présenté les résultats des simulations. Le nombre d'études ayant examiné les effets de l'exposition des vertébrés étudiés dans le cadre de ces travaux à des CEM RF à haute fréquence est donc de 109. Parmi celles-ci, 29 sont des études cellulaires *in vitro* et 80 sont des études *in vivo* portant sur des modèles animaux. Ces deux groupes sont analysés séparément. La Figure 3 présente un organigramme de l'analyse bibliographique. Il convient de noter que l'analyse bibliographique a mis au jour un nombre considérable d'articles publiés en russe, qui ont été exclus *a priori*.

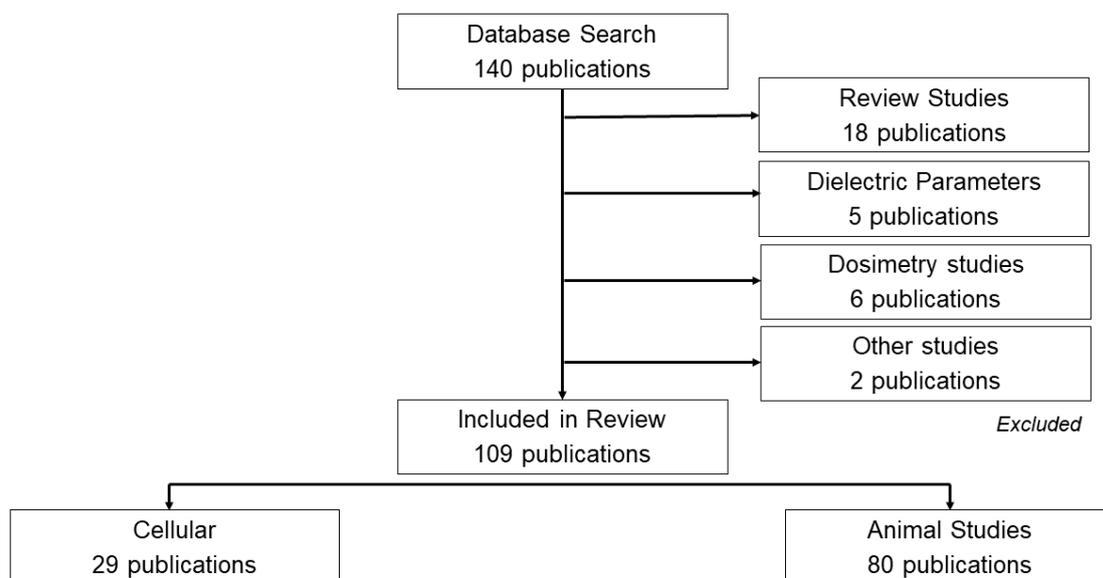


Figure 3 – Organigramme du post-traitement de l'analyse bibliographique relative à l'exposition des vertébrés à des CEM RF à haute fréquence

Les propriétés diélectriques des vertébrés dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz sont présentées dans S.I. Alekseev, Gordiienko et Ziskin (2008); C. Gabriel, Gabriel et Corthout (1996); S. Gabriel, Lau et Gabriel (1996a; 1996b); et K Sasaki et al. (2015). Plusieurs études ont utilisé ces propriétés diélectriques ou présenté leurs propres résultats concernant les propriétés diélectriques pour procéder à la dosimétrie de (cellules de) vertébrés dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz (Stanislav I. Alekseev et Ziskin, 2011; Liberti et al., 2009; Partlow et al., 1981; Kensuke Sasaki et al., 2014; M. Zhadobov et al., 2008; Maxim Zhadobov et al., 2015). Ning Huansheng et al. (2010) ont présenté les résultats relatifs à un radar qui s'est concentré sur la détection des oiseaux, tandis que A. B. Gapeyev et Chemeris (1999) ont présenté une étude de simulation de canaux ioniques. Enfin, une série d'études antérieures avaient été réalisées sur des vertébrés exposés à des CEM RF dans la gamme de fréquences étudiée (Betskii et Lebedeva, n.d.; Brusick et al., 1998; Del Blanco, Romero-Sierra et Tanner, 1973; Gordon et al., 1963; Le Dréan et al., 2013; Obe, 2004; A.G. Pakhomov et Murthy, 2000; Andrei G. Pakhomov et al., 1998; Ramundo-Orlando, 2010; Repacholi, 1997; 1998;

M. Rojavin, 1998; Ryan, D'Andrea et Jauchem, 1999; Tanner et Romero-Sierra, 1974; Vaughn, 1985; Vecchia, 2009; L. Verschaeve et Maes, 1998; Debouzy et al., 2007).

Les études analysées sont réparties en deux catégories principales: les études cellulaires (in vitro) et les études animales (in vivo ou combinées). Dans le premier groupe, une lignée ou culture de cellules est extraite d'un vertébré, puis exposée à des CEM RF, tandis que dans le deuxième, l'organisme tout entier est exposé à ces champs. Il convient de noter que, dans les études animales, il est également possible que des cellules soient extraites après exposition de l'organisme en tout ou en partie, puis traitées in vitro.

Études cellulaires

Génotoxicité

La génotoxicité due à l'exposition de cultures cellulaires de vertébrés à des CEM RF dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz a été examinée dans un nombre limité d'études. Garaj-Vrhovac, Horvat et Koren (1991; 1990) ont étudié les cellules de hamsters chinois V79 exposées à 7,7 GHz pendant 15-60 minutes à des densités de puissance comprises entre 0,5 et 60 mW/cm². Ils ont constaté une réduction dose-dépendante des taux de survie des cellules (Garaj-Vrhovac, Horvat et Koren, 1991), de même qu'une augmentation significative de la fréquence de certaines aberrations chromosomiques dans les cellules exposées. Cependant, ils n'utilisent pas de groupe témoin exposé de simulation et leurs mesures de la température sont limitées. Scarfi et al. (1996) ont étudié les effets génotoxiques à l'aide d'un essai de micronoyaux avec blocage de la cytokinèse portant sur des lymphocytes exposés à des CEM RF de 9 GHz à un taux d'absorption spécifique de 70 mW/g. Ils ont utilisé un témoin non exposé, combiné à un témoin positif pour la génotoxicité. La fréquence des micronoyaux a augmenté après l'exposition aux RF à la fois pour les cellules exposées et sans le témoin positif. Ils n'ont pas utilisé de groupe de simulation mais affirment n'avoir observé aucune différence entre le groupe de simulation et le groupe témoin non exposé lors d'une précédente étude.

Activation neuronale

Des études cellulaires in vitro ont été utilisées pour analyser la décharge neuronale de certains potentiels d'action dans les neurones des vertébrés en cas d'exposition à des CEM RF (voir le Tableau 11). Andrei G. Pakhomov et al. (1997c; 1997a; 1997b) ont étudié des paramètres du potentiel d'action combiné du nerf sciatique de grenouilles exposé à des CEM RF pulsés de 40-52 GHz. Grâce à un plan d'étude de très grande qualité du point de vue du groupe témoin de simulation, ils ont déterminé des effets sur le potentiel d'action qui étaient spécifiques à la fréquence et qui ne peuvent pas être entièrement expliqués par les effets thermiques.

Tableau 11 – Études ayant analysé l'activité neuronale des cellules de vertébrés in vitro dans des conditions d'exposition à des CEM RF compris entre 6 et 300 GHz

Espèce et type de cellule	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Cellules électroréceptrices de raies (Rajidae)</i>	37-55	Imprécis	< 30 min	Imprécis	Imprécis	1-10 mW/cm ²	Augmentation passagère du taux de décharge neuronale. Il a été suggéré qu'il s'agissait d'un effet thermique.	Akoev, Avelev et Semenjkov, 1995
<i>Nerf sciatique de grenouilles</i>	40-52 (pulsé)	Antenne en champ lointain	10-60 min	Témoins protégés et de simulation. L'exposition des témoins de simulation a été évaluée. Tous les équipements étaient allumés pendant la simulation, mais les champs étaient atténués.	Oui	0,24-3,0 mW/cm ²	Les modifications des paramètres du potentiel d'action combiné dans des conditions d'exposition à des CEM RF ont été étudiées. À de faibles fréquences d'impulsion, un effet a uniquement été observé aux densités de puissance les plus élevées (2-3 mW/cm ²) et était similaire aux autres méthodes de chauffage. À des fréquences d'impulsions élevées, un effet lié à la fréquence sur le potentiel d'action combiné a été observé.	Andrei G. Pakhomov et al., 1997a
<i>Cellules du nerf sciatique de grenouilles (Rana berlandieri ou R. pipiens)</i>	40-52 (pulsé)	Antenne en champ lointain	38 min	Témoins exposés de simulation placés dans une chambre blindée	Oui	2,5 mW/cm ²	Diminution temporaire et réversible de l'amplitude et de la vitesse de conduction des potentiels d'action combinés. Les résultats dépendent davantage de la fréquence que de l'intensité.	Andrei G. Pakhomov et al., 1997b
<i>Cellules du nerf sciatique de grenouilles (Rana pipiens)</i>	41 (pulsé)	Antenne en champ lointain	23 min	Témoins de simulation protégés. L'exposition des témoins de simulation a été évaluée. Tous les équipements étaient allumés pendant la simulation, mais les champs étaient atténués.	Oui	0,02-2,6 mW/cm ²	La stimulation à fréquence élevée a diminué le potentiel d'action combiné, conformément aux autres études du même groupe. Les auteurs ont suggéré que l'effet n'était pas thermique.	Andrei G. Pakhomov et al., 1997c
<i>Coupes de cerveau de rats Sprague-Dawley mâles</i>	9,3 (pulsé)	Chambre d'exposition avec guide d'ondes ouvert à une extrémité	2 min	Témoins de simulation protégés.	Oui	1,57 MV/m (haute puissance)	Des pics de population ont été évoqués par l'exposition à des champs pulsés. Les auteurs ont signalé une diminution passagère et totalement réversible de l'amplitude des pics de population, qui était de nature thermique.	Andrei G. Pakhomov et al., 2003

<i>Coupes de cerveau de rats Sprague-Dawley néonatales</i>	60	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	1 min	Témoins non exposés. Différents niveaux d'exposition sont utilisés.	Non	Incident à 90 mW/cm ² , 30-800 nW/cm ² au niveau de l'échantillon (calculé)	Modifications réversibles du taux de décharge neuronale et des propriétés des membranes plasmiques. Les effets induits par les ondes millimétriques ne peuvent pas être totalement attribués au chauffage, mais celui-ci fait apparaître un effet similaire. L'exposition n'a pas augmenté la température.	Pikov et al., 2010; Siegel et Pikov, 2010
--	----	--------------------------------------	-------	---	-----	---	--	---

Andrei G. Pakhomov et al. (2003) ont également étudié l'exposition de coupes corticales du cerveau de rats à des CEM RF pulsés à haute énergie à 9 GHz et ont établi qu'elle provoquait des pics de population de nature thermique. Pikov et al. (2010); Pikov et Siegel (2011) ont également étudié l'activité neuronale de coupes cérébrales de rats exposées à des CEM RF. Ils ont utilisé l'exposition à des CEM RF à 60 GHz et effectué des calculs qui se traduisent par une très faible exposition ($< \mu\text{W}/\text{cm}^2$) des coupes étudiées. Ils ont observé des hausses de température, même à ces très faibles expositions, ainsi que des modifications réversibles du taux de décharge neuronale et des propriétés des membranes plasmiques, qui pourraient être de nature thermique. Selon eux, ces effets ne peuvent pas être entièrement attribués au chauffage. Ils n'ont pas utilisé de groupe exposé de simulation mais ont travaillé avec différentes doses. Akoev, Avelev et Semjenkov (1995) n'ont pas non plus utilisé de groupe de simulation et n'ont pas fourni suffisamment d'informations sur les conditions d'exposition.

Transformation cellulaire

Akoev et al. (1994) ont étudié l'exposition des ganglions spinaux d'embryons de poussins à des CEM RF à 54 GHz. Ils ont observé une hausse liée à la dose de la croissance des neurones jusqu'à une certaine dose ($100 \text{ W}/\text{cm}^2$). Au-delà de cette intensité, la croissance était inhibée. L'évaluation de l'exposition, la dosimétrie et les conditions des témoins ne sont pas claires dans cette étude. L'exposition de chondrocytes de rats Sprague-Dawley (SD) a été étudiée à 30-40 GHz dans Li et al. (2010; 2012). Les conditions d'exposition sont cependant très floues et peu d'informations ont été fournies sur les témoins. Des modifications de l'apoptose cellulaire induite et de l'expression de l'ARNm et des protéines ont été signalées. Les cellules souches de rats SD exposés à des CEM RF de 30-40 GHz ont été étudiées par Tong et al. (2009); Wu et al. (2009; 2011). Ils ont observé des modifications de l'expression de l'ARNm et des protéines, ainsi qu'une apoptose cellulaire induite, mais, de nouveau, dans des conditions d'exposition très floues et avec peu d'informations sur les témoins. Stensaas et al. (1981) ont utilisé une procédure expérimentale de qualité supérieure pour étudier des cellules BHK-2VC13 exposées à 42 et 74 GHz pendant 1 h à des niveaux de 320 ou 450 mW/cm^2 . Ils ont observé des hausses de température et des modifications de la morphologie des cellules au-delà d'une certaine température seuil par rapport au groupe témoin de simulation. Une autre étude de grande qualité réalisée par Haas, Le Page, Zhadobov, Sauleau et al. (2016) a étudié l'excroissance des neurites dans des cellules PC12 exposées à des CEM RF de 60 GHz à $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ pendant 24 h. Ils n'ont observé aucun effet de l'exposition sur l'excroissance des neurites par rapport aux témoins de simulation et chauffés. Les légers effets non significatifs pouvaient s'expliquer par les hausses de température.

Autres études in vitro

Le Tableau 12 répertorie les études in vitro de cellules de vertébrés qui n'examinent pas la transformation cellulaire, l'activation neuronale ou la génotoxicité. Une série d'articles ont été dédiés à la production de dérivés réactifs de l'oxygène (ROS) dans des neutrophiles péritonéaux de souris (A.B. Gapeyev et al., 1997; A.B. Gapeyev et al., 1998; Safronova, Gabdoulkhakova et Santalov, 2002). Toutes les études ont établi qu'une exposition à des CEM RF aux alentours de 42 GHz augmentait la production de ROS par rapport aux témoins (de simulation) à un taux d'absorption spécifique et des niveaux de champs incidents relativement faibles. Sun et al. (2012); Titushkin et al. (2009); Shapiro et al. (2013); Geletyuk et al. (1995) ont étudié l'effet de l'exposition à des CEM RF (42-94 GHz) sur les paramètres des canaux ioniques de cellules de vertébrés. Ils ont observé des modifications des canaux ioniques en cas d'exposition à des CEM RF mais les ont attribuées aux effets thermiques (Titushkin et al., 2009; Shapiro et al., 2013). Melnick, Rubenstein et Birenbaum (1982) ont exposé directement des mitochondries hépatiques de rats à des CEM RF à 35 GHz. Ils ont constaté des modifications du contrôle respiratoire, une diminution des niveaux d'absorption de Ca^{2+} et une augmentation de l'ampleur de l'efflux de Ca^{2+} . Ces effets ont pu être neutralisés par un refroidissement, ce qui laisse entendre qu'ils sont de nature thermique. Haas, Le Page, Zhadobov, Boriskin et al. (2016); Haas et al. (2017) ont étudié les effets de l'exposition à des

CEM RF à 60 GHz sur le métabolisme cellulaire et les récepteurs membranaires de cellules PC12, à l'aide d'un plan d'étude de grande qualité avec expositions fictives, contrôle de la chaleur et dosimétrie numérique. Ils n'ont observé aucun effet sur les paramètres étudiés qui ne puisse pas être expliqué d'un point de vue thermique. Samsonov et Popov (2013) ont démontré que l'exposition à des CEM RF augmente le taux d'assemblage des microtubules. Cependant, les conditions des témoins et l'évaluation de l'exposition ne sont pas claires. Ils ont également affirmé que les effets pouvaient avoir une explication thermique.

Tableau 12 – Études in vitro de cellules de vertébrés dans des conditions d'exposition à des CEM RF compris entre 6 et 300 GHz

Espèce et type de cellule	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Cellules rénales du ouistiti africain</i>	42	Guide d'ondes diélectrique	20-30 min	Imprécis	Imprécis	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	L'effet de l'exposition à des CEM RF sur les canaux ioniques Ca^{2+} et K^+ a été étudié. L'exposition influence l'activité des canaux.	Geletyuk et al., 1995
<i>PC12 (rat)</i>	60	Antenne à cornet en champ lointain	24 h	Des témoins positifs et chauffés ont été utilisés, de même que des témoins de simulation.	Oui	10 mW/cm^2 et taux d'absorption spécifique < 1 kW/kg (FDTD)	Les auteurs ont évalué si les expositions à des CEM RF ont une incidence sur l'expression des récepteurs membranaires au niveau des protéines. Aucun effet lié à l'exposition n'a été observé. L'exposition aux CEM RF a augmenté la température.	Haas, Le Page, Zhadobov, Boriskin et al., 2016
<i>PC12 (rat)</i>	60	Antenne à cornet en champ lointain	24 h	Des témoins chauffés et des témoins de simulation ont été utilisés.	Oui	5 mW/cm^2	Les auteurs ont évalué les effets de l'exposition à des ondes millimétriques sur le métabolisme neuronal. Aucune modification significative n'a été constatée dans les molécules étudiées. Les modifications pouvaient être expliquées par des effets thermiques.	Haas et al., 2017
<i>Neurones médullaires de Xenopus (grenouille)</i>	94	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	< 50 s	Imprécis	Imprécis	310 W/m^2 par puissance d'entrée d'1 mW , valeur réelle incertaine	L'exposition aux CEM RF augmente le taux d'assemblage des microtubules. Cet effet peut avoir une explication thermique.	Samsonov et Popov, 2013
<i>Mitochondries hépatiques de rats</i>	35	Champ proche de l'antenne à cornet	30 min	Témoins de simulation	Oui	0,5 et 1 W/cm^2	L'exposition aux RF a provoqué une perte du contrôle respiratoire, une diminution des niveaux d'absorption de Ca^{2+} et une augmentation de l'ampleur de l'efflux de Ca^{2+} . Ces effets ont pu être neutralisés par un refroidissement. La perte du contrôle respiratoire ne suivait pas une courbe liée à la dose.	Melnick, Rubenstein et Birenbaum (1982)
<i>Ovocytes de Xenopus laevis</i>	60	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	< 4 min	Témoins chauffés. Les témoins par rapport à l'exposition aux CEM RF ne sont pas clairs.	Imprécis	0,18-6 mW/mm^2 (cellules latérales)	Hausse de la température due à l'exposition à des ondes millimétriques. Modifications des paramètres des canaux ioniques cohérentes avec un mécanisme thermique. Augmentation du taux	Shapiro et al., 2013

						exposées, FDTD)	de décharge du potentiel d'action en cas d'exposition.	
<i>P19 (souris)</i>	94	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	Inconnu	Témoins non exposés et témoins chauffés.	Non	30-60 mW	L'exposition a augmenté les pics de calcium.	Sun et al., 2012
<i>Cellules neuronales dérivées de cellules souches embryonnaires de souris</i>	94	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	45 s	Témoins non exposés	Non	18,6 kW/m ²	La fréquence des pics de Ca ²⁺ en cas d'exposition à des CEM RF a été étudiée et une hausse a été observée. Cet effet semble être de nature thermique. La température a également augmenté.	Titushkin et al., 2009
<i>Neutrophiles péritonéaux de souris</i>	42 (ondes entretenues et champs pulsés)	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	20 min	Témoins de simulation	Oui	7 nW/cm ² – 150 µW/cm ²	Les auteurs ont tenté de déterminer si l'exposition à des CEM RF avait une incidence sur la production de dérivés réactifs de l'oxygène (ROS) par les neutrophiles. Ils ont observé une réduction de la production de ROS et un effet de résonance à 41,95 GHz. Les champs modulés ont également été comparés à l'exposition à des ondes entretenues et se sont traduits par une modification de la production de ROS.	A.B Gapeyev et al., 1998
<i>Neutrophiles péritonéaux de souris</i>	42 (ondes entretenues)	Champ proche et lointain de l'antenne	40 min	Témoins non exposés	Non	10 ⁻⁸ -10 ⁻² W/cm ²	Des modifications de la production de ROS sont observées par rapport aux témoins. L'influence de la fréquence est différente pour les champs proche et lointain, tout comme l'influence de l'intensité.	A.B Gapeyev et al., 1997
<i>Neutrophiles péritonéaux de souris</i>	42 (ondes entretenues)	Antenne à cornet en champ lointain	20 min	Témoins de simulation	Oui	0,45 W/kg (calculé)	Les CEM RF ont augmenté la production de ROS, un effet qui peut être inhibé en activant les cellules avec un réactif.	Safronova, Gabdoulkhakova et Santalov, 2002

Études sur les animaux

Chauffage diélectrique et défaillance circulatoire

Plusieurs études se sont penchées sur le chauffage diélectrique de vertébrés (rongeurs) et ont tenté de déterminer le mécanisme (défaillance circulatoire) entraînant la mort en raison du chauffage par des CEM RF, ainsi que les seuils de densité de puissance et de durée d'exposition entraînant la mort (voir le Tableau 13). Deichmann et al. (1959) ont réalisé une étude dans le cadre de laquelle des rats et des souris ont été exposés à des niveaux très élevés de CEM RF à 24 GHz. Ils ont déterminé la relation dose-réponse entraînant la mort des animaux. Prausnitz et Sutsskind (1962); Poison et al. (1974) ont réalisé des études similaires à 7 et 9 GHz. M. R. Frei, Jauchem et Heinmets (1989) ont également étudié l'exposition à 9,3 GHz à des niveaux inférieurs. Ils ont exposé des rats jusqu'à l'obtention d'une hausse de la température centrale de 1 °C et ont enregistré les modifications de la fréquence cardiaque pendant l'exposition. Plusieurs études réalisées par le même groupe (Melvin R. Frei et al., 1995; Ryan et al., 1996; Ryan, Frei et Jauchem, 1997; Ryan et al., 1997; J. R. Jauchem et al., 1997a; Kains et al., 2000; J. R. Jauchem, Ryan et Tehrany, 2004; James R. Jauchem, Ryan et Walters, 2016) ont analysé l'exposition de rats SD à 35 GHz (taux d'absorption spécifique de 13 W/kg). Dans la plupart de ces études, les rats ont été exposés jusqu'à leur mort et certains paramètres des animaux ont été surveillés (fréquence cardiaque, tension artérielle, température centrale et température superficielle). Les principales conclusions sont que la température superficielle augmente beaucoup plus fort que la température centrale en cas d'exposition à des CEM RF. La tension artérielle a augmenté pendant l'exposition, puis diminué jusqu'à la mort. Les auteurs ont étudié l'influence de plusieurs médicaments sur cet effet. La fréquence cardiaque a augmenté pendant l'exposition. Cet effet n'est pas lié à l'âge. Le même groupe a également présenté des résultats à 10 GHz et 94 GHz (James R Jauchem, Ryan et Frei, 2000; 1999; Millenbaugh et al., 2006). Les résultats de l'exposition aux RF sur la température corporelle, la fréquence cardiaque et la tension artérielle étaient similaires. Ils ont constaté des influences de la dose et de la fréquence. Enfin, il convient de noter que les niveaux d'exposition utilisés dans la plupart des études reprises dans le Tableau 13 sont relativement élevés par rapport à ceux observés dans l'environnement (à des fréquences inférieures à 6 GHz) (Bhatt et al., 2016).

Tableau 13 – Études ayant examiné le chauffage diélectrique chez les rongeurs dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz

Espèce et type de cellule	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Rats SD, souris C59, poussins nains</i>	24	Antenne à cornet dans une chambre blindée	< 500 min	Témoins chauffés par IR.	Non	Puissance d'entrée de 20 W (moyenne). 0,02-0,26 W/cm ² en champ lointain.	Les rats sont décédés après 15 min d'exposition dans le champ proche de l'antenne. Pour l'exposition en champ lointain, la durée d'exposition létale minimale augmentait en fonction de la distance de séparation par rapport à l'antenne (43 min à 8 cm et 480 min à 31 cm). La puissance de 0,028 W/cm ² a entraîné la mort d'un rat après 140 min d'exposition. Cette relation dose-effet a également été observée chez la souris. La durée d'exposition létale minimale augmente à mesure que la densité de puissance diminue. La température rectale des animaux a augmenté avec la durée d'exposition. Les effets du chauffage par micro-ondes dépendent de l'endroit de l'organisme exposé. Les RF pénétraient davantage dans l'organisme que les IR.	Deichmann et al., 1959
<i>Souris albinos Swiss</i>	9 (pulsé)	Antenne à cornet	4,5 min/jour, 5 jours/semaine (52 semaines)	Témoins de simulation	Oui	Puissance d'entrée de 25 W (moyenne). 0,06-0,4 W/cm ² , 0,1 W/cm ² dans l'expérience d'exposition chronique.	200 souris ont été exposées pendant 52 semaines. La température rectale a augmenté de 3 °C durant la période d'exposition. Une irradiation de 4,5 min a été utilisée, car celle de 9 min à cette densité de puissance provoque 50 % de mortalité. Aucune modification du poids corporel par rapport aux témoins, pas de modification de la réponse aux fluctuations de température, ni des paramètres du sang. Une dégradation testiculaire a été observée dans le groupe exposé par rapport aux témoins.	Prausnitz et Sutsskind, 1962
<i>Rats SD</i>	7,44	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	≤ 300 s	L'exposition est comparée à différentes fréquences.	Non	0,6-6 W/cm ²	La mortalité attendue à une densité de puissance déterminée a été calculée en fonction de la durée d'exposition. Par exemple: à 6 W/cm ² , il est prévu que 50 % des rats meurent après 17 s d'exposition. À 0,6 W/cm ² , cette durée est de 190 s.	Poison et al., 1974

<i>Rats SD</i>	9,3 (ondes entretenues et champs pulsés)	Antenne	Jusqu'à ce qu'une hausse de la température de 1 °C ait été atteinte	Les ondes entretenues sont comparées aux champs pulsés.	Non	30-60 mW/cm ²	La température rectale a augmenté de 38,5 °C à 39 °C. Les températures sous-cutanée et tympanique augmentent la température du côlon pendant l'exposition. La fréquence cardiaque a augmenté pendant l'exposition, avant de redescendre après. Aucune modification de la tension artérielle et de la fréquence respiratoire n'a été observée.	M. R. Frei, Jauchem et Heinmets, 1989
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Non	Non	13 W/kg	Les animaux ont été exposés jusqu'à leur mort, et la température et le débit sanguin ont été mesurés à plusieurs endroits de l'organisme. La température sous-cutanée a augmenté beaucoup plus que la température du côlon. La fréquence cardiaque a augmenté pendant l'irradiation. La tension artérielle moyenne s'est maintenue jusqu'à 42 °C, puis a diminué jusqu'à la mort. La résistance vasculaire mésentérique a augmenté au début de l'irradiation, puis a diminué jusqu'à la mort. La défaillance circulatoire s'est manifestée à des températures du côlon relativement normales, tandis que la température de la peau a augmenté jusqu'à des valeurs très élevées.	Melvin R. Frei et al., 1995, 35
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Le groupe exposé a été scindé en deux: l'un a reçu le traitement à l'oxyde nitrique et l'autre un placebo.	Non	13 W/kg	Les animaux ont été exposés jusqu'à ce que la tension artérielle moyenne ait diminué jusqu'à une certaine valeur. L'oxyde nitrique ou le placebo a ensuite été administré. Aucune modification de la survie des rats après l'administration du médicament n'a été constatée.	Ryan et al., 1996
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Les rats exposés ont été répartis dans trois groupes d'âge.	Non	13 W/kg	Les animaux ont été exposés jusqu'à leur mort. Aucune différence n'a été mesurée entre les différents groupes d'âge.	Ryan et al., 1997
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Le groupe exposé a été scindé en trois: deux ont reçu des médicaments différents inhibant l'oxyde nitrique et un juste de l'eau, avant l'irradiation.	Non	13 W/kg	L'exposition a été poursuivie jusqu'à ce que la tension artérielle moyenne descende jusqu'à un certain niveau, puis a été stoppée. Les changements de tension entre les témoins exposés et les animaux ayant reçu les médicaments étaient différents. Il n'y a pas eu de modification de la survie après traitement.	Ryan, Frei et Jauchem, 1997

<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Le groupe exposé a été scindé en trois: deux d'entre eux se sont vu administrer de l'esmolol (2 doses), tandis que le troisième a reçu de l'eau saline.	Non	13 W/kg	La fréquence cardiaque a augmenté, tandis que la tension artérielle a tout d'abord augmenté, avant de diminuer pour tous les groupes d'animaux. Les animaux ayant reçu le médicament ont présenté une diminution dose-dépendante de la tension artérielle par rapport au groupe témoin exposé (placebo).	J. R. Jauchem et al., 1997b
<i>Rats SD</i>	94	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Non	Non	75 mW/cm ²	L'exposition a augmenté la température. La température du côlon a moins augmenté que les températures sous-cutanée et côté exposé. La tension artérielle a tout d'abord augmenté, avant de diminuer jusqu'au décès. La fréquence cardiaque a augmenté pendant la période d'exposition. Les résultats sont similaires à une exposition à 35 GHz.	James R Jauchem, Ryan et Frei, 1999, 99
<i>Rats SD</i>	1 et 10	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	3 groupes: 1 GHz, 10 GHz et les deux	Non	12 W/kg	La survie était plus élevée à 10 GHz que dans les deux autres groupes. La température a augmenté dans tous les groupes. Pendant l'irradiation, la tension artérielle a tout d'abord augmenté, avant de diminuer jusqu'au décès. La fréquence cardiaque a augmenté pendant l'exposition.	James R Jauchem, Ryan et Frei, 2000
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	< 60 min	Non	Non	75 mW/cm ²	Un stress oxydatif a été observé dans de nombreux organes lors de l'exposition aux CEM RF.	Kains et al., 2000
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Jusqu'à la mort	Plusieurs groupes sous placebo et médicaments administrés à différentes doses et à différents moments par rapport à l'exposition aux RF. Tous les groupes ont été exposés.	Non	13 W/kg	Pendant l'exposition aux CEM RF, la fréquence cardiaque a augmenté. La tension artérielle a tout d'abord augmenté, avant de baisser jusqu'à la mort. La température a augmenté dans tous les groupes. Des antagonistes de l'histamine (H1 et H2) ont été administrés à deux groupes d'animaux exposés. Certains effets ont été observés sur la tension artérielle moyenne pendant l'exposition et la survie après exposition pour certaines doses de médicaments.	J. R. Jauchem, Ryan et Tehrany, 2004
<i>Rats SD</i>	35 et 94	Antenne à cornet	Inconnu	Témoins avec chauffage environnemental par rapport au chauffage diélectrique	Non	75-90 mW/cm ²	Les distributions de température dans l'organisme sont différentes pour chaque fréquence et pour la méthode de chauffage alternative. Le temps nécessaire pour arriver à une défaillance circulatoire était plus court à la dose la plus élevée à la fréquence la plus haute. Les auteurs ont conclu que le chauffage de l'intérieur de l'organisme est un facteur déterminant de	Millenbaugh et al., 2006

							l'induction de la mort en raison d'une hausse de la température. D'après leur analyse, l'influence du chauffage des couches extérieures (peau et hypoderme) n'est pertinente que lorsqu'un certain seuil de dose est atteint.	
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	< 38 min	Témoins de simulation	Oui	75 mW/cm ²	Les paramètres cardiovasculaires et de température ont été enregistrés en continu. Les paramètres relatifs à la consistance du sang ont changé. Aucune modification des électrolytes sanguins ni des enzymes hépatiques n'a été observée. La température a augmenté et la tension artérielle a chuté par rapport aux témoins de simulation.	James R. Jauchem, Ryan et Walters, 2016

Comportement

L'idée d'utiliser des CEM RF de haute fréquence pour influencer le comportement des oiseaux a été avancée dans Tanner (1966). Dans cette étude, le comportement de poussins exposés à des CEM RF modulés de haute puissance à 9,3 GHz (bande X) a été décrit sur le plan qualitatif. L'effet du radar dans la bande X (8-12 GHz) sur le comportement des oiseaux migratoires a été étudié de manière quantitative dans Bruderer, Peter et Steuri (1999) et Sheridan et al. (2015). Aucun effet de l'exposition au radar sur la trajectoire des oiseaux n'a été constaté dans Bruderer, Peter et Steuri (1999), tandis que Sheridan et al. (2015) ont observé certains effets sur le comportement de *Molothrus ater*, mais qui ne se sont pas reproduits à deux saisons différentes. Les deux études ont utilisé un plan d'étude très intéressant qui comportait une exposition factice à une installation radar. Nicholls et Racey (2009) se sont appuyés sur un plan d'étude similaire pour étudier les effets du radar en bande X sur le comportement de chauves-souris. Ils ont observé une réduction de l'activité des chauves-souris lorsque le radar était actif par rapport aux moments où il était éteint.

Génotoxicité

La génotoxicité de l'exposition à des CEM RF dans la bande de 6-300 GHz a été analysée à l'aide d'un nombre limité d'études sur les animaux. Kesari et Behari (2009) et Paulraj et Behari (2006) ont étudié des coupures de l'ADN dans le cerveau de rats après exposition à des CEM RF. Kesari et Behari (2009) ont exposé des rats à 50 GHz et à une densité de puissance incidente de $0,86 \mu W/cm^2$ à raison de 2 h/jour pendant 45 jours. Ils n'ont utilisé que six animaux exposés et six animaux témoins (pour lesquels l'exposition était factice) et ont découvert que l'exposition chronique à des CEM RF provoque des coupures de l'ADN double brin et diminue l'activité des enzymes antioxydantes étudiées. Paulraj et Behari (2006) ont étudié des rats exposés à 17 GHz et à une densité de puissance incidente de $1 mW/cm^2$ à raison de 2 h/jour pendant 35 jours. Ils ont également utilisé un ensemble limité de six animaux exposés, qu'ils ont comparé aux animaux témoins. Ils ont constaté une augmentation des coupures de l'ADN simple brin dans les cellules cérébrales des animaux exposés par rapport aux animaux témoins. Logani et al. (2004) ont réalisé une étude de plus grande envergure incluant 48 souris BALB/c exposées à des CEM RF à 42 GHz et à une densité de puissance de $32 mW/cm^2$ à raison de 30 min/jour pendant 3 jours. Ils ont évalué la génotoxicité potentielle à travers l'incidence des micronoyaux dans les érythrocytes polychromatiques de cellules prélevées dans le sang périphérique et la moelle osseuse. Ils ont affirmé que cette incidence n'était pas différente pour les groupes exposés et ont conclu qu'il n'y avait pas de preuve de la génotoxicité des CEM RF à 42 GHz dans les cellules prélevées dans le sang périphérique et la moelle osseuse des souris.

Cancer

Plusieurs études se sont penchées sur l'effet de l'exposition à des CEM RF sur le développement de cancers/tumeurs. Ivanov et al. (2005) proposent une description qualitative des expériences portant sur la carcinogenèse à 37 GHz. Les conditions expérimentales de l'étude ne sont cependant pas claires. Ces mêmes animaux se sont retrouvés au cœur d'une étude de grande qualité réalisée par Logani et al. (2006). Ceux-ci ont exposé les mêmes souris C57BL/6 à 42 GHz et à $37 mW/cm^2$ pendant 30 min à l'aide d'une antenne à cornet. Cinquante animaux au total ont été étudiés dans 5 groupes et tous se sont vu injecter des cellules de mélanome. Les auteurs ont utilisé un médicament qui a augmenté les métastases tumorales dans un groupe. Cet effet a été considérablement réduit lorsque les animaux ayant reçu ce médicament ont été exposés. Les ondes millimétriques ont également augmenté l'activité des cellules tueuses naturelles. Mason (2001) a étudié des souris Sencar exposées à 94 GHz dans deux conditions: une exposition élevée ($1 W/cm^2$) pendant une seconde et une exposition répétée plus faible ($0,333 W/cm^2$) pendant 10 s chaque semaine. Des groupes témoins non exposés et exposés de manière factice ont été utilisés parallèlement à un groupe exposé à des infrarouges. L'exposition aux CEM RF n'a pas eu d'effet sur l'incidence et la multiplicité des tumeurs. La température de la peau a augmenté de 4-5 °C dans les conditions de

faible exposition et de 13-15 °C dans le cas de l'exposition élevée. A.A. Radziewsky et al. (2004) ont étudié la croissance de mélanomes sous-cutanés B16 F10 chez des souris, qui ont été exposées à 13 mW/cm² et à 61 GHz à raison de 15 minutes cinq fois par jour. Ils ont constaté que, lorsqu'elles étaient effectuées à compter du **cinquième** jour après l'injection de cellules du mélanome B16, ces cinq expositions journalières supprimaient la croissance tumorale. Le même traitement entamé un ou dix jours après l'injection était sans effet. Enfin, Rocher et al. (2000) ont étudié la survie de souris DBA2 ayant reçu des injections de cellules leucémiques ou tumorales et exposées à 60 GHz et à 0,5 mW/cm² par rapport à des témoins non exposés (et non des témoins à exposition factice). Ils ont constaté que la survie des souris présentant des cellules leucémiques augmentait. En revanche, la croissance de la tumeur étudiée se trouvait renforcée. Il convient de relever que les auteurs ont utilisé un nombre très limité d'animaux.

Reproduction

Trois études ont analysé l'influence de l'exposition à des CEM RF dans la gamme de fréquences examinée sur la reproductivité des rats mâles. Akdağ et al. (1999) ont étudié des rats SD exposés à des CEM RF à 9,5 GHz et à 2,65 mW/cm² à raison d'1 heure/jour pendant 13-52 jours par rapport à des animaux témoins (exposition factice). Quarante animaux ont été exposés de manière factice et 40 ont été exposés à des CEM RF. Les auteurs ont constaté une augmentation de la température rectale après exposition aux CEM RF dans ¾ des groupes d'étude. Le nombre de spermatozoïdes a diminué pour la catégorie soumise à l'exposition la plus longue. Le pourcentage de spermatozoïdes anormaux et le poids des testicules et des épидидymes des groupes exposés pendant au moins 26 jours ont connu des modifications significatives. Les auteurs ont suggéré que l'effet était thermique. Kesari et Behari (2010) ont réalisé une étude très similaire avec des rats Wistar, mais avec seulement 8 animaux exposés à 50 GHz. Ils ont constaté certains effets sur le développement cellulaire (sperme) et les enzymes antioxydantes. Manikowska et al. (1979) ont observé des perturbations de la méiose de 16 souris BALB/c exposées en comparaison avec 7 animaux témoins non exposés (un ensemble relativement limité d'animaux), lesquelles perturbations étaient induites par une exposition à des CEM RF pulsés à 9,4 GHz et à 0,1-10 mW/cm². S. Kumar, Kesari et Behari (2011) ont étudié le sperme de six rats SD exposés à des CEM RF à 10 GHz et à 0,21 mW/cm² à raison de 2 heures/jour pendant 45 jours par rapport à des animaux à exposition factice. L'exposition du groupe à exposition factice n'a jamais été mesurée. Il semble toutefois plausible de présumer qu'il n'y avait pas d'exposition environnementale à 10 GHz. Les auteurs ont observé une hausse de la production de ROS dans les spermatozoïdes exposés, une diminution de l'activité histone kinase et une augmentation de l'apoptose.

Système nerveux

Kolosova et al. (1996) ont analysé l'exposition de 40 rats Wistar à des CEM RF à 54 GHz et à 4 mW/cm² pendant 10 minutes tous les trois jours. Ils ont observé une accélération de la régénération des fibres nerveuses des rats exposés, ainsi qu'une augmentation de la vitesse de conduction nerveuse. Aucune modification du potentiel d'action combiné n'a été observée (alors que de telles modifications ont été constatées dans les études cellulaires). Stanislav I. Alekseev et al. (2009) ont étudié l'exposition de la patte arrière de souris Swiss Webster à des CEM RF à 42 GHz (ondes entretenues et champs pulsés) à des niveaux de 10 à 200 mW/cm² pendant des durées d'exposition inférieures à 100 s. Ils ont découvert que l'exposition à des CEM RF augmentait la température de la peau. L'exposition à la densité de puissance incidente ≥ 45 mW/cm² a inhibé l'activité électrique spontanée du nerf sural dans la même patte arrière. Les nerfs ont affiché une hausse de leur taux de décharge après l'exposition (effet uniquement observé à ≥ 160 mW/cm²). Le contrôle de la chaleur fait apparaître un effet inhibiteur similaire de la décharge neuronale, mais pas la même décharge transitoire après l'exposition. Sivachenko et al. (2016) ont étudié l'activité neuronale du noyau trigéminé spinal de 13 rats exposés à des CEM RF à 40 GHz produits par un appareil d'exposition inconnu affichant une puissance d'entrée de 0,01 mW. Une exposition de 10 minutes a réduit la décharge spontanée et supprimé la réponse à une stimulation neuronale parallèle.

Immunologie

Plusieurs études ont tenté de déterminer si l'exposition à des CEM RF déclenche des réponses immunologiques dans l'organisme des vertébrés.

I Detlavs et al. (1994 et 1996) ont étudié l'effet de l'exposition de lésions cutanées de rats Wistar à des CEM RF à 42-54 GHz et à une densité de puissance de 10 mW/cm². Ils ont découvert que les signaux à onde continue inhibent les réponses inflammatoires des lésions cutanées, tandis que les CEM RF pulsés ne montrent pas de tels effets. Les conditions d'exposition de ces études sont incertaines et la température n'a pas été contrôlée.

Korpan, Resch et Kokoschinegg (1994) ont étudié des lésions cutanées aseptiques et d'autres infectées chez des lapins exposés et non exposés à des CEM RF à 37 GHz. Ils ont découvert que l'exposition aux CEM RF facilitait la cicatrisation, mais on ignore s'ils ont utilisé ou non l'exposition factice pour le groupe témoin.

Mikhail A. Rojavin, Tsygankov et Ziskin (1997) ont étudié l'effet de l'exposition à des CEM RF à 61 GHz chez des souris ayant reçu du cyclophosphamide (CP), un médicament ayant un effet toxique. Cette exposition a réduit l'effet du CP. La même combinaison d'exposition à des CEM RF, mais cette fois à 42 GHz, et d'administration de CP a été étudiée dans Logani et al. (2002) et Logani, Agelan et Ziskin (2002). Le traitement par CP a réduit la population de leucocytes et de cellules de la moelle osseuse (immunosuppression), ainsi que le contenu du sang. Dans ces études, l'exposition à des CEM RF n'a pas neutralisé l'action du CP. Cependant, plusieurs études de suivi (V. Makar et al., 2003; V. R. Makar et al., 2005; 2006) ont découvert que l'exposition des souris à des CEM RF à 42 et 61 GHz neutralisait les effets du CP. Leur conclusion est que les cellules T et les cellules tueuses naturelles interviennent toutes deux dans la réponse immunologique à l'exposition à des CEM RF.

Fesenko et al. (1999) et Novoselova et al. (1999) ont démontré que l'exposition à des CEM RF à 8-18 GHz provoquait une hausse de la production du facteur de nécrose tumorale dans certains macrophages et lymphocytes T, hausse qui est également liée à la réponse immunitaire

Lysenyuk et al. (2000) ont étudié la réponse des souris à une inflammation aiguë administrée de la patte exposée à des CEM RF (43 et 61 GHz) par rapport à des témoins à exposition factice. Ils ont observé une réduction de la réaction de léchage des souris à l'inflammation présente chez les animaux exposés par rapport aux animaux exposés de manière factice.

K. V. Lushnikov et al. (2004 et 2005) ont étudié l'exposition de souris à des CEM RF à 42 GHz et à une densité de puissance de $0,1 \text{ mW/cm}^2$. Ils ont montré que cette exposition a un effet anti-inflammatoire, qui pourrait être comparé à l'effet de certaines doses de diclofénac (un médicament anti-inflammatoire). La combinaison de l'exposition aux CEM RF et d'une dose de diclofénac s'est traduite par un renforcement de l'effet. Le sujet a également été étudié par A.B. Gapeyev, Mikhailik et Chemeris (2008); Andrew B. Gapeyev, Mikhailik et Chemeris (2009); Andrew B. Gapeyev et al. (2011). Ils ont montré l'existence d'un effet lié à la dose et à la fréquence de l'exposition à des CEM RF et ont tenté de déterminer si la modulation des signaux avait une influence sur l'effet anti-inflammatoire. Ils ont également étudié le rôle des cellules thymiques dans cette réponse.

Millenbaugh et al. (2008) ont étudié les expressions géniques dans la peau de rats SD exposés à des CEM RF à 35 GHz. Les rats ont été exposés dans le champ lointain d'une antenne à 75 mW/cm^2 jusqu'à ce que la température de leur côlon augmente jusqu'à 41-42 °C. L'expression génique au niveau de la peau a été comparée à un groupe témoin à exposition factice et à un groupe témoin qui avait été chauffé à l'aide d'une autre technique. L'étude a utilisé 87 rats SD. Les auteurs ont constaté que l'exposition à des CEM RF induisait une agrégation des neutrophiles dans les vaisseaux, une dégénérescence des cellules stromales et une décomposition du collagène dans le derme. Ils ont également observé des modifications dans l'expression de plusieurs gènes après 6 heures et 24 heures d'exposition. Les résultats concordent avec le fait que l'exposition provoque un stress thermique et des lésions cutanées tout en déclenchant des processus de réparation impliquant l'inflammation et la restauration de la matrice tissulaire.

Tableau 14 – Études ayant analysé les effets immunologiques in vivo de l'exposition à des CEM RF dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz chez des vertébrés

Espèce et type de cellule	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition factice	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Rats Wistar</i>	42-54 (ondes entretenues et champs pulsés)	Incertaines	30 min/jour (5 jours)	Non exposé	Incertain	10 mW/cm ²	Inhibition de la réponse inflammatoire au niveau de la lésion cutanée induite.	Detlavs et al., 1994
<i>Rats Wistar</i>	42-54 (ondes entretenues et champs pulsés)	Incertaines	30 min/jour (5 jours)	Non exposé	Incertain	10 mW/cm ²	L'inflammation de la lésion cutanée a été inhibée chez les animaux exposés à des CEM RF non modulés (60 animaux).	Detlavs et al., 1996
<i>Lapins chinchillas</i>	37	Antenne à cornet	30 min/jour (5 ou 7 jours)	Non exposé	Non	1 mW/cm ²	Comparaison de lapins présentant des lésions cutanées aseptiques et infectées. La cicatrisation des lésions cutanées aseptiques et infectées a été favorisée par l'exposition aux CEM RF. Le processus de cicatrisation était plus actif et a pris moins de temps chez les animaux exposés.	Korpan, Resch et Kokoschinegg, 1994
<i>Souris BALB/c</i>	61	Champ proche de l'antenne à cornet	20 min/jour pendant 3 jours	Exposition factice	Oui	15 mW/cm ²	L'exposition aux CEM RF a réduit l'effet toxique du médicament cyclophosphamide (CP) sur l'immunité cellulaire.	Mikhail A. Rojavin, Tsygankov et Ziskin, 1997
<i>Souris NMRI</i>	8-18	Incertaines	0,5-7 jours	En cage, non exposé (même cage, pas d'exposition)	Non	1 μ W/cm ² (2-5 mW/kg)	L'exposition aux CEM RF a provoqué une hausse de la production du facteur de nécrose tumorale dans certains macrophages et lymphocytes T.	Fesenko et al., 1999
<i>Souris NMRI</i>	8-18	Incertaines	5 heures	Non exposé et exposition factice	Oui	1 μ W/cm ² (2-5 mW/kg)	L'exposition aux CEM RF a induit une hausse de la production du facteur de nécrose tumorale dans les macrophages et les cellules T. Une hausse de la réponse mitogénique a été observée dans les lymphocytes T après l'exposition aux CEM RF.	Novoselova et al., 1999
<i>Souris</i>	43, 61	Guide d'ondes	3 ou 10 min	Exposition factice	Oui	0,1-7 mW/cm ²	L'exposition aux CEM RF a amélioré la condition des animaux chez qui une inflammation aiguë	Lysenyuk et al., 2000

		ouvert à une extrémité					avait été administrée dans la patte. Leur réaction de léchage était réduite. La fréquence et la dose ont toutes deux influencé les résultats.	
<i>Souris BALB/C</i>	42	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	30 min/jour pendant 3 jours	Exposition factice	Oui	622 W/kg (31 mW/cm ²)	Le traitement par CP a réduit la population de leucocytes et de cellules de la moelle osseuse (immunosuppression). L'exposition aux CEM RF n'a pas neutralisé l'action du CP.	Logani et al., 2002
<i>Souris BALB/C</i>	42	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	30 min/jour pendant 3 jours	Exposition factice	Oui	622 W/kg (31 mW/cm ²)	L'exposition aux CEM RF avant ou après l'administration du CP n'a pas réduit l'effet du CP sur le sang des souris.	Logani, Agelan et Ziskin, 2002
<i>Souris BALB/C</i>	42	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	30 min/jour pendant 3 jours	Non exposé et exposition factice	Oui	31 mW/cm ²	Effet de l'exposition aux CEM RF sur les fonctions d'activation, de prolifération et d'effecteur des cellules T. Ces fonctions sont importantes pour les réponses immunitaires liées aux cellules T. L'exposition aux CEM RF neutralise les effets immunosuppresseurs du CP et modifie les fonctions d'activation et d'effecteur de certaines cellules T.	V. Makar et al., 2003
<i>Souris BALB/C</i>	42	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	30 min/jour pendant 3 jours	Non exposé et exposition factice	Oui	31 mW/cm ²	Le traitement par CP a provoqué un renforcement notable de l'activation des cellules tueuses naturelles. La co-exposition au CP et aux CEM RF a modifié cette réponse. L'exposition aux CEM RF peut réguler positivement les fonctions des cellules NK.	V. R. Makar et al., 2005
<i>Souris BALB/c</i>	61	Champ proche de l'antenne à cornet	30 min/jour pendant 3 jours	Non exposé et exposition factice	Oui	31 mW/cm ²	L'exposition aux CEM RF a provoqué une régulation positive de la production du facteur de nécrose tumorale dans les macrophages étudiés, qui a été supprimée par le CP. L'exposition aux CEM RF a également amélioré l'activité des cellules T. De plus, elle a accéléré le processus de rétablissement grâce à une réponse immunitaire liée aux cellules T.	V. R. Makar et al., 2006
<i>Souris NMRI</i>	42	Champ lointain de l'antenne	20 min	Non exposé ou exposition factice (incertain)	Incertain	0,1 mW/m ²	L'exposition aux CEM RF réduit la gravité de l'inflammation. Elle inhibe également la production de formes actives d'oxygène dans les neutrophiles participant à un processus inflammatoire.	K. V. Lushnikov et al., 2004

<i>Souris NMRI</i>	42	Champ lointain de l'antenne	20 min	Non exposé	Oui	0,1 mW/m ²	L'exposition aux CEM RF est comparée au dosage du médicament diclofénac. Le médicament a provoqué un effet anti-inflammatoire dose-dépendant. L'exposition aux CEM RF a réduit l'œdème induit du coussinet plantaire et l'hyperthermie associée à l'inflammation. Cet effet était comparable à celui du diclofénac. Les traitements combinés ont eu un effet partiellement cumulatif.	Konstantin V. Lushnikov et al., 2005
<i>Souris NMRI</i>	38-70	Champ lointain de l'antenne	20-120 min	Exposition factice	Oui	0,01-0,1 mW/cm ²	L'exposition à 42, 52 et 65 GHz a réduit l'œdème du coussinet plantaire et l'hyperthermie autour de l'inflammation. Les autres fréquences ont été moins efficaces. Une dépendance en cloche à la durée d'exposition à 0,1 mW/cm ² et une dépendance linéaire à 0,01 mW/cm ² ont été observées. Le traitement combiné avec le diclofénac était partiellement cumulatif.	A.B. Gapeyev, Mikhailik et Chemeris, 2008
<i>Souris NMRI</i>	42-43 (modulé)	Champ lointain de l'antenne	20 min	Exposition factice	Oui	0,1-0,7 mW/cm ²	Aucune modification de l'effet anti-inflammatoire dû à la modulation. À certaines fréquences inefficaces aux ondes entretenues, la modulation a amélioré l'effet anti-inflammatoire.	Andrew B. Gapeyev, Mikhailik et Chemeris, 2009
<i>Souris NMRI</i>	42	Champ lointain de l'antenne	20 min	Exposition factice	Oui	0,1 mW/m ²	L'exposition aux CEM RF a modifié la consistance des cellules thymiques, ce qui influence la réponse anti-inflammatoire induite par cette exposition.	Andrew B. Gapeyev et al., 2011
<i>Rats Wistar</i>	37-53	Incertaines	2 fois 40 min	Non exposé et exposition factice	Oui	Puissance d'entrée de 20 mW	Les modifications de l'activité des cellules tueuses naturelles (NK) et du nombre de cellules c-Fos-positives ont été étudiées. Une stimulation électrique douloureuse a diminué le nombre de cellules NK et augmenté celui des cellules c-Fos-positives. Cet effet a pu être neutralisé par une exposition aux CEM RF avant et après la stimulation électrique.	Shanin, 2005
<i>Rats SD</i>	35	Champ lointain de l'antenne	Jusqu'à ce qu'une température de 41-42 °C soit atteinte	Exposition factice et autre technique d'élévation de la température	Oui	75 mW/cm ²	La peau des rats a été exposée. Des modifications du derme ont été observées après l'exposition, de même que des modifications de 56 gènes à 6 h et de 58 gènes à 24 h dans le groupe exposé. D'après les auteurs, cela indique que l'exposition prolongée aux CEM RF provoque un stress	Millenbaugh et al., 2008

							thermique et des lésions cutanées, tout en déclenchant des processus de réparation impliquant l'inflammation et la restauration de la matrice tissulaire. 87 rats SD ont été étudiés.	
<i>Rats SD</i>	35	Antenne à cornet	Exposition jusqu'à atteindre une température du côlon de 41 °C	Exposition factice et autre technique d'élévation de la température	Oui	75 mW/cm ²	L'exposition aux CEM RF a augmenté la température du côlon des rats par échauffement diélectrique. L'autre méthode d'échauffement (chaleur environnementale) et l'exposition aux CEM RF ont toutes deux induit la libération de médiateurs d'activation des macrophages dans le plasma des rats.	Sypniewska et al., 2010
<i>Lapins blancs de Nouvelle-Zélande</i>	38	Incertaines	20 ou 40 min/jour pendant 10 jours	Deux groupes témoins non exposés	Non	10 mW/cm ²	Le score de Mankin modifié, l'apoptose des chondrocytes et l'expression de caspase-3 et de MMP-13 étaient inférieurs dans le groupe ayant reçu la dose la plus élevée de CEM RF par rapport au groupe témoin.	Xia et al., 2012

Sypniewska et al. (2010) ont montré que l'exposition de rats à des CEM RF à 35 GHz augmentait la température du côlon des rats par échauffement diélectrique. Cet effet a été comparé à celui d'une autre méthode d'élévation de la température. Les deux expositions ont induit la libération de médiateurs d'activation des macrophages dans le plasma des rats, ce qui a contribué aux réponses immunitaires.

Hypoalgésie

L'hypoalgésie est un terme utilisé pour indiquer une diminution de la sensibilité à des stimuli douloureux. Plusieurs études ont tenté de déterminer si l'exposition à des CEM RF peut avoir un effet hypoalgésique. Une étude sur ce sujet a été réalisée par Usichenko et al. (2006). La plupart des articles de niveau A1 publiés dans ce domaine émanent d'un groupe de recherche du professeur Ziskin. Ils ont étudié de manière approfondie les effets hypoalgésiques de l'exposition à des CEM RF, principalement à 61 GHz, à l'aide de souris Swiss Webster (souris albinos Swiss) (M A Rojavin et Ziskin, 1997; Mikhail A. Rojavin et al., 1998; M A Rojavin et al., 2000; Alexander A. Radziewsky et al., 2000; 2001; A. Radziewsky et al., 2004; A.A. Radziewsky et al., 2008; Alexander A Radziewsky et al., 2002). Ils ont démontré l'existence d'un effet anesthésiant prolongé après exposition à des CEM RF pendant 15 min à 15 mW/cm² (M A Rojavin et Ziskin, 1997; M. Rojavin, 1998). Ils ont également montré que la même exposition pouvait être utilisée pour accroître la latence de la réponse des souris au test du retrait de la queue à l'eau froide (M A Rojavin et al., 2000) et ont établi que cet effet est maximisé lorsque le museau ou la voûte plantaire des pattes était exposé, plutôt que le dos de la souris (Alexander A. Radziewsky et al., 2000; 2001). Ils ont montré que ce traitement n'avait pas d'effets secondaires négatifs sur l'activité du côlon (Alexander A Radziewsky et al., 2002). Ils ont par ailleurs démontré qu'une exposition unique à 61 GHz (13 mW/cm² pendant 15 minutes) du nez supprimait la douleur non neuropathique chronique et réduisait la sensibilité à la douleur aiguë. Cependant, le traitement s'est révélé inefficace dans le modèle de douleur neuropathique chronique (A. Radziewsky et al., 2004). Enfin, ils ont montré qu'une exposition à 61 GHz était plus efficace qu'une à 42 ou 53 GHz (A.A. Radziewsky et al., 2008).

Exposition de l'œil aux CEM RF

Le Tableau 15 propose une vue d'ensemble de toutes les études qui se sont penchées sur l'exposition de l'œil aux CEM RF dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz. Deux animaux ont été étudiés: des lapins et des macaques rhésus.

Richardson, Duane et Hines (1951) ont étudié des yeux de lapins exposés à des CEM RF pulsés à 10 GHz. 21 lapins ont été exposés à l'aide d'un guide d'ondes alimenté par une puissance d'entrée allant jusqu'à 67 W. 16 des 21 animaux ont développé des opacités des yeux dans les 60 jours. Russell L. Carpenter et Ummersen (1968) ont étudié l'exposition d'yeux de lapins à 8 et 10 GHz et ont établi que les deux fréquences pouvaient induire une cataracte. Ils ont déterminé les seuils pour cet effet sur la base de la puissance par rapport à la durée d'exposition. Birenbaum et al. (2016) ont déterminé les mêmes seuils pour l'induction de modifications du cristallin des lapins à 5,5 et 6,3 GHz. Le même seuil pour les effets liés à la cataracte a été observé à 5,5 et 6,3 GHz. Kues et al. (1999) ont étudié dix lapins dont les yeux ont été exposés à 60 GHz à 10 mW/cm². Ils n'ont observé aucune lésion oculaire détectable. Il s'agit en outre des seuls auteurs qui utilisent une exposition factice de l'œil controlatéral, les autres références répertoriées dans le Tableau 15 utilisant l'œil controlatéral en tant que témoin non exposé. Masami Kojima et al. (2009) ont utilisé des puissances élevées à 60 GHz pour démontrer qu'il est possible d'utiliser trois types d'antennes pour causer des dommages aux paupières ou aux globes oculaires. Ils ont utilisé 40 lapins dans leur étude. Dans une première étude de suivi comprenant 30 lapins (Kojima et al., 2012), les auteurs ont démontré, grâce à des sondes de température implantées dans l'œil, qu'une exposition à 40 GHz augmentait la température interne de l'œil. Ils ont utilisé la même technique pour montrer les hausses de température entre 18 et 40 GHz dans Masami Kojima et al. (2015). Dans une étude de grande ampleur avec 130 lapins (Masami Kojima et al., 2018), les auteurs ont démontré l'existence d'une

influence liée à la dose sur la température cornéenne, ainsi que de lésions de la cornée liées à la dose à la suite d'une exposition à 40, 75 et 90 GHz à des densités de puissance comprises entre 10 et 600 mW/cm².

L'exposition des yeux de macaques rhésus (*Macaca mulatta*) à des CEM RF dans la gamme de fréquences de 6-300 GHz a été étudiée pour la première fois par R. D. McAfee et al. (1979; 1983). Les auteurs ont conditionné les macaques pour qu'ils regardent dans une antenne émettant à 9,3 GHz. Contrairement à d'autres études qui n'exposent qu'un seul œil des animaux, ils ont exposé les deux yeux de 12 primates et ont maintenu un groupe témoin non exposé distinct (pas d'exposition factice). Les animaux ont été exposés jusqu'à 40 fois (< 1 500 minutes au total) à des densités de puissance de 150 ou 300 mW/cm². Les auteurs n'ont pas découvert d'effet oculaire induit par ces expositions. Kues et al. (1999) ont étudié deux macaques rhésus exposés à 60 GHz et à 10 mW/cm² et n'ont pas découvert d'effets oculaires. Chalfin et al. (2002); Foster et al. (2003) ont étudié cinq macaques exposés à des CEM RF pulsés à 35 et 94 GHz. Ils ont fixé les seuils pour l'induction d'une lésion cornéenne et ont démontré que l'exposition provoquait des hausses importantes de la température interne de l'œil. Parker et al. (2020) ont réalisé une étude avec 16 macaques (12 exposés et 4 témoins) à 94 GHz et ont mesuré l'augmentation de la température de l'œil exposé à 0,5-2 W/cm². Ils ont conclu que les seuils proposés par Chalfin et al. (2002) sont prudents.

Tableau 15 – Études ayant étudié l'exposition in vivo des yeux de vertébrés à des CEM RF (6-300 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition factice	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Lapins</i>	10 (pulsé)	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	< 20 min	Un œil exposé et un non exposé par animal	Non	34-67 W (moyenne)	21 lapins ont été exposés. 16 ont développé des opacités des yeux dans les 60 jours. Celles-ci se sont manifestées à l'intérieur de la cornée et dans le segment antérieur du cristallin, et non du côté postérieur (où de tels effets ont été observés à des fréquences inférieures).	Richardson, Duane et Hines, 1951
<i>Lapins</i>	5,5 (ondes entretenues et champs pulsés), 6,3 et 70	Guide d'ondes ouvert à une extrémité (basses fréquences), antenne à cornet (70 GHz)	< 150 min	Non	Non	Puissance d'entrée < 1,1 W	Les expositions à des champs pulsés et à des ondes entretenues à 5,5 GHz peuvent toutes deux induire des modifications du cristallin du lapin. Les seuils pour la puissance par rapport à la durée d'exposition ont été déterminés. Les mêmes seuils pour les effets cataractogènes ont été observés à 6,3 GHz, plutôt qu'à 5,5 GHz. Seuls des résultats qualitatifs ont été présentés pour l'exposition à 70 GHz.	Birenbaum et al., 1969
<i>Lapins</i>	8-10	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	< 60 min	Non	Non	Puissance d'entrée de 0,15-1,1 W	L'exposition à 8 et 10 GHz peut induire une cataracte dans l'œil du lapin. Les courbes des seuils pour la puissance d'entrée par rapport à la durée ont été déterminées.	Russell L. Carpenter et Ummersen, 1968
<i>Lapins</i>	60	Antenne à cornet	8 h (aiguë) ou 4 h/jour pendant 5 jours	Un œil exposé et un exposé de manière factice par animal	Oui	10 mW/cm ²	Une exposition unique ou répétée à une radiation à ondes entretenues à 60 GHz et à 10 mW/cm ² ne provoque pas de lésion oculaire détectable. 10 lapins	Kues et al., 1999
<i>Lapins</i>	60	Antenne à cornet ou lentille	6 (lentille) ou 30 (cornet) min	Un œil exposé et un non exposé par animal + pré-exposition du même œil	Non	475 (cornet) ou 1 900 (lentille) mW/cm ²	40 lapins. Les trois antennes utilisées ont provoqué des lésions diverses des paupières et des globes oculaires.	Masami Kojima et al., 2009
<i>Lapins</i>	40	Antenne lentille	10 min	s.o.	s.o.	400-100 mW/cm ²	30 lapins. Une sonde de température a été implantée dans les yeux des lapins. Les hausses de température ont été mesurées pour toutes les expositions, jusqu'à une hausse de 23 °C.	M. Kojima et al., 2012

<i>Lapins</i>	18-40	Antenne lentille	3 min	s.o.	s.o.	200 mW/cm ²	16 lapins. Une sonde de température a été implantée dans les yeux des lapins. Les fréquences plus élevées ont induit des températures supérieures. La température a augmenté pendant l'exposition dans toutes les parties de l'œil (cornée, cristallin, corps vitré).	Masami Kojima et al., 2015
<i>Lapins</i>	40, 75, 95	Antenne lentille	6 min et 30 min (uniquement à 75 GHz)	Un œil exposé et un non exposé par animal + pré-exposition du même œil. Groupe témoin soumis à des radiations IR.	Non	10-600 mW/cm ²	130 lapins. Effet lié à la dose sur la température cornéenne. Lésions liées à la dose de la cornée dues à l'exposition.	Masami Kojima et al., 2018
<i>Macaques rhésus (Macaca mulatta)</i>	9,3 (pulsé)	Antenne à cornet	< 700 min	Groupe témoin non exposé et groupe témoin externe	Non	150 mW/cm ² (mesuré)	Les macaques ont été conditionnés pour faire face à la source de CEM RF. Ils ont été irradiés à 30-40 reprises et suivis pendant un an. Aucun effet sur l'œil n'a été observé. 12 macaques exposés.	R. D. McAfee et al., 1979
<i>Macaques rhésus (Macaca mulatta)</i>	9,3 (pulsé)	Antenne à cornet	< 1 500 min	Groupe témoin non exposé et groupe témoin externe	Non	150-300 mW/cm ² (mesuré)	12 macaques exposés. Les macaques ont été conditionnés pour faire face à la source de CEM RF. Ils ont été irradiés à plusieurs reprises, certains à des niveaux d'exposition différents. Aucun effet sur l'œil n'a été observé.	Robert D. McAfee et al., 1983
<i>Macaques rhésus (Macaca mulatta)</i>	60	Antenne à cornet	8 h (aiguë) ou 4 h/jour pendant 5 jours	Un œil exposé et un exposé de manière factice par animal	Oui	10 mW/cm ²	Une exposition unique ou répétée à une radiation à ondes entretenues à 60 GHz et à 10 mW/cm ² ne provoque pas de lésion oculaire détectable. Seulement 2 macaques.	Kues et al., 1999
<i>Macaques rhésus (Macaca mulatta)</i>	35 et 94 (pulsé)	Guide d'ondes ouvert à une extrémité	< 5 s	Un œil exposé et un non exposé par animal	Non	< 11 J/cm ² (2-7 W/cm ² pendant différentes durées)	Seulement 5 animaux. Seuils de 7,5 J/cm ² (35 GHz) et 5 J/cm ² (94 GHz) pour les lésions cornéennes. Des modifications passagères ont été observées au niveau de ces lésions. Le nombre de cellules endothéliales est demeuré inchangé. Des hausses de température jusqu'à 30 °C ont été mesurées et concordent avec les résultats de simulations. Une hausse de 20 °C est proposée en tant que seuil pour les effets oculaires.	Chalfin et al., 2002; Foster et al., 2003
<i>Macaques rhésus (Macaca mulatta)</i>	94	Antenne lentille	< 5 min	12 exposés et 4 témoins	Non	0,5-2 W/cm ²	16 macaques. Hausse de la température due à l'exposition. Commentaires au sujet de Chalfin et al. (2002) et plaidoyer en faveur de seuils de	Parker et al., 2020

Autres études

Vorobyov et Khramov (2002) ont observé des modifications du spectre EEG de lapins exposés à des CEM RF dans la gamme de fréquences de 55-75 GHz en comparaison avec les témoins. Narinyan et Ayrapetyan (2017) ont étudié l'effet de l'exposition à des CEM RF sur l'hydratation du muscle cardiaque de rats. Ils ont découvert que tant l'exposition factice que l'exposition à des CEM RF à 90-160 GHz augmentait l'hydratation en comparaison avec les témoins non exposés.

3.2.2. Examen des effets sur les invertébrés

L'analyse bibliographique de cette section a mis en évidence 46 publications sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Parmi celles-ci, onze publications se sont uniquement concentrées sur la définition des propriétés diélectriques des invertébrés, trois études ont seulement présenté des résultats de dosimétrie, trois publications se sont axées sur la détection des insectes par radar, une publication a utilisé les ondes millimétriques comme modèle à l'échelle pour les rayons infrarouges et cinq publications consistaient en des études d'évaluation. Restaient 23 études qui ont examiné les effets de l'exposition des invertébrés aux CEM RF à haute fréquence. Trois d'entre elles ont porté sur l'échauffement diélectrique des insectes comme méthode d'extermination, douze d'entre elles ont été consacrées aux effets sur le développement et aux effets génétiques de l'exposition des insectes aux CEM RF, et huit études ont été axées sur l'activité neuronale générée par l'exposition aux CEM RF à haute fréquence. Ces trois groupes sont analysés séparément. La Figure 4 présente un organigramme de l'analyse bibliographique.

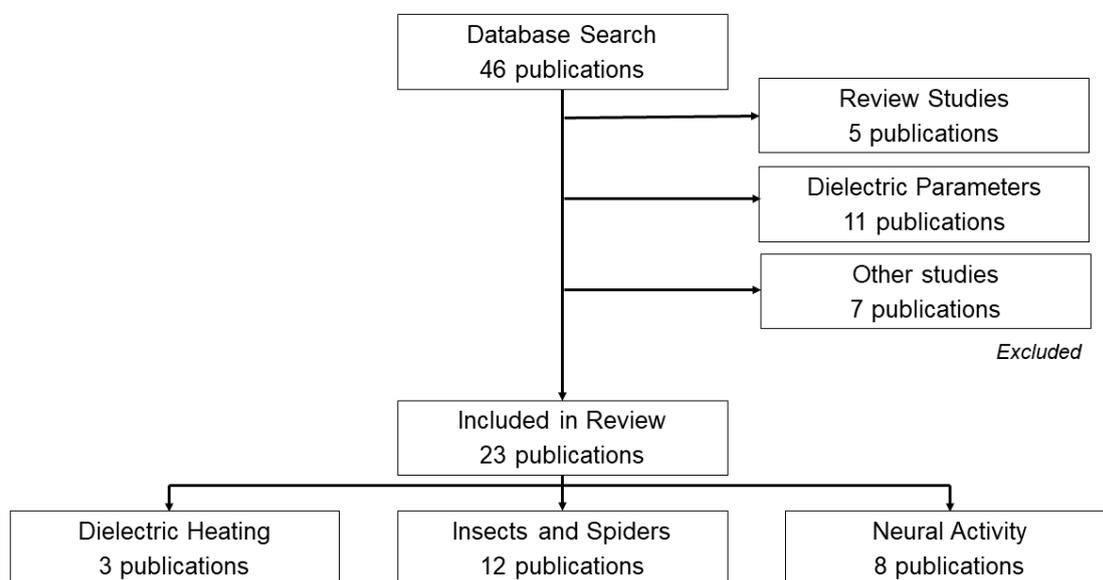


Figure 4 – Organigramme du post-traitement de l'analyse bibliographique sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF à haute fréquence

La recherche bibliographique a mis en évidence cinq études d'évaluation antérieures ayant porté sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Vecchia (2009) a étudié une large gamme de fréquences et de domaines de recherche. Belyaev (1992) a porté son attention sur les effets génétiques potentiels de l'exposition aux ondes millimétriques. Tanner et Romero-Sierra (1974) ont consacré leur analyse aux effets sur le

développement, tandis que Sergii Romanenko et al. (2017) se sont concentrés sur l'activation neuronale. Enfin, Del Blanco, Romero-Sierra et Tanner (1973) ont présenté une vue d'ensemble des travaux réalisés dans ce domaine avant 1973.

Les propriétés diélectriques des invertébrés, en particulier des insectes, dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz ont été analysées jusqu'à 70 GHz (Shackelford, 1967) dans une série de publications (M. Ahmed et al., 2011; Colpitts, Pelletier et Cogswell, 1992; Das, Kumar et Shah, 2013a; Nelson, 2004; Nelson et al., 1998; Nelson, 2001; Nelson, Bartley et Lawrence, 1997; Nelson, 1976; Nelson et L. F. Charity, 1972; Shackelford, 1967; Hamid, Kashyap et Cauwenberghe, 1968). L'objectif principal de ces études était de déterminer si ces CEM RF pouvaient être utilisés pour lutter contre les organismes nuisibles dans le cadre du stockage de certains produits. L'échauffement diélectrique comme méthode d'extermination des insectes est étudié dans seulement trois publications (Halverson et al., 1996; Watters, 1976; Estal et al., 1986). Le Tableau 16 présente un résumé de leurs conclusions. Halverson et al. (1996) ont réalisé une démonstration d'échauffement à haute fréquence de deux insectes (le *Sitophilus zea-mais* et le *Tribolium castaneum*) à 10,6 GHz, à très haute puissance et durant de courtes durées d'exposition. Cet échauffement a provoqué une mortalité élevée et des hausses de température. Halverson et al. (1996) ont également souligné la possibilité d'un échauffement différentiel amélioré des insectes et des produits infestés. Watters (1976) a réalisé une démonstration d'échauffement diélectrique du *Tribolium confusum* avec une puissance plus faible, mais toujours relativement élevée (30 W) et des durées d'exposition allant jusqu'à deux minutes. Les hausses de température et la mortalité ont varié en fonction de la dose employée et de la durée d'exposition. Enfin, Estal et al. (1986) ont déterminé des liens entre la dose employée et la mortalité pour le *Ceratitidis capitata* exposé à 9 GHz selon les différents stades de vie des insectes. Les niveaux d'exposition utilisés dans les études citées dans le Tableau 16 sont relativement élevés par rapport au niveau d'exposition environnementale aux CEM RF dans les réseaux de télécommunication actuels, soit à des fréquences inférieures à 6 GHz (Bhatt et al., 2016; Velghe et al., 2019a; Thielens et al., 2020).

En se concentrant davantage sur l'exposition des insectes aux CEM RF à haute fréquence, Thielens, Bell, et al. (2018), puis Thielens et al. (2020) ont démontré que les CEM RF sont mieux absorbés par les corps des insectes dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz que dans la gamme de fréquences RF inférieure. Ces études se limitent toutefois à la dosimétrie numérique (et à certaines mesures d'exposition environnementale aux CEM RF) et ne présentent aucune expérience en matière d'exposition. Des expériences de ce type sont réalisées dans le cadre des études citées dans le Tableau 17. L'analyse présentée dans ce tableau est divisée en trois groupes d'études: les travaux portant sur les *Drosophila melanogaster*, ceux portant sur les *Tenebrio molitor* et ceux portant sur d'autres insectes et sur les araignées.

Tableau 16 – Vue d'ensemble des études sur l'échauffement diélectrique des insectes par exposition aux CEM RF à haute fréquence

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Niveau d'exposition	Effet du traitement par CEM RF	Référence
<i>Ceratitis capitata</i> (mouche à fruit de Méditerranée)	9	Guide d'ondes	< 2,25 min	8,6 W/cm ²	Un rapport log-linéaire entre la dose de CEM RF et la mortalité a été déterminé. La courbe varie selon le stade de vie (nymphe, adulte). De hautes mortalités peuvent être atteintes.	Estal et al., 1986
<i>Sitophilus zeamais</i> (calandre du maïs)	10,6	Cavité	< 5 s	9-20 kW	Augmentation du taux de dissipation de l'insecte à l'hôte de la puissance des RF à des fréquences supérieures à 2,45 GHz. Augmentation de la température jusqu'à 64 °C. Mortalité entre 53 % et 99,9 %.	Halverson et al., 1996
<i>Tribolium castaneum</i> (tribolium rouge de la farine)	10,6	Cavité	< 5 s	9-20 kW	Augmentation du taux de dissipation de l'insecte à l'hôte de la puissance des RF à des fréquences supérieures à 2,45 GHz. Augmentation de la température jusqu'à 63 °C. Mortalité entre 67 % et 99,8 %.	Halverson et al., 1996
<i>Tribolium confusum</i> (tribolium brun de la farine)	8,5	Antenne à cornet	< 120 s	30 W	Augmentation de la température de 27 °C à 75 °C. La mortalité dépend de la durée d'exposition. Mortalité maximale à 120 s. Mortalité supérieure à 68 % après une exposition de 120 s. La mortalité dépend du stade de vie (larve, œuf, adulte, nymphe) au moment de l'exposition.	Watters, 1976

Tenebrio molitor

Robert L. Carpenter et Livstone (1971) ont étudié l'exposition du *Tenebrio molitor* à 10 GHz, à des puissances absorbées inférieures à celles généralement utilisées pour l'échauffement diélectrique (voir Tableau 16). Ils ont toutefois encore observé un échauffement diélectrique limité. Afin d'analyser les effets de la hausse de température, ils ont travaillé avec un groupe à exposition factice, chauffé au moyen d'une autre méthode. Dans le cadre de leur étude, ils ont observé des pourcentages plus élevés de décès et d'anormalités parmi les nymphes exposées que parmi le groupe non exposé, le groupe à exposition factice et le groupe à exposition factice soumis à une augmentation de la température. Au vu de ces résultats, ils ont conclu que la réduction de la viabilité des insectes doit revêtir une nature non thermique. Une étude de suivi sur la même espèce, exposée aux CEM RF à 9 GHz, a été menée (Lindauer et al., 1974). Dans cette étude, l'exposition des lymphes a été estimée à 8,6 ou 17,1 mW/cm². Il s'agit de valeurs relativement élevées pour des CEM RF incidents, qui dépassent les restrictions de base de la CIPRNI sur l'exposition aux CEM RF dans cette gamme de fréquences (CIPRNI, 2020). Cette étude a permis de reproduire les résultats présentés par Robert L. Carpenter et Livstone (1971) et de constater une mortalité plus élevée et des anormalités plus fréquentes parmi les groupes exposés aux CEM RF par rapport au groupe non exposé, au groupe à exposition factice et au groupe à exposition factice soumis à une autre méthode d'échauffement. Cette étude a ensuite également été reproduite par Liu, Rosenbaum et Pickard (1975), qui ont examiné les mêmes insectes, à la même fréquence, soumis à une série de doses et de puissances absorbées différentes. Ces auteurs ont pu eux aussi observer une mortalité plus élevée et des anormalités plus fréquentes parmi les groupes exposés aux CEM RF par rapport au groupe à exposition factice, ainsi qu'une relation dose-effet. Ils ont également constaté d'importantes anormalités en cas de puissances absorbées 100 fois moins élevées que celles utilisées par Lindauer et al. (1974). Toutefois, 0,17 mW/cm² reste une valeur d'exposition aux CEM RF plutôt élevée, mais elle est inférieure aux restrictions de base relatives à la densité de puissance à cette fréquence (CIPRNI, 2020). Les auteurs ont également réalisé une étude parallèle de dosimétrie (Liu, Rosenbaum et Pickard, 1976). Le même insecte a ensuite fait l'objet d'une autre étude à 9 GHz par Green, Rosenbaum et Pickard (1979). Ces auteurs ont aussi observé d'importantes anormalités chez les insectes adultes après une exposition aux CEM RF. Ils ont indiqué les valeurs des taux spécifiques d'absorption pour les insectes étudiés, mais la manière dont elles ont été obtenues n'est pas claire. Le niveau d'exposition utilisé par Green, Rosenbaum et Pickard (1979) est difficile à déterminer. Au vu des valeurs des taux spécifiques d'absorption (jusqu'à 800 W/kg) attestées par les auteurs, les niveaux d'exposition étaient élevés. Pour confirmer que les effets pouvaient être attribués à l'échauffement, des mesures de la température ont été réalisées. Les auteurs ont constaté que certains niveaux non thermiques engendraient des anormalités parmi les insectes. Ils ont également observé une relation dose-effet. Pickard et Olsen (1979) ont étudié l'exposition du *Tenebrio molitor* à 10 GHz et n'ont constaté aucun effet lors de l'analyse de la mortalité et des difformités à 50 W/m².

Drosophila melanogaster

Dardalhon, Berteaud et Averbeck (1979) ont réalisé une étude sur l'exposition du *Drosophila melanogaster* à 17 GHz et à 73 GHz. Ils ont constaté une certaine augmentation de la mortalité des œufs exposés mais n'ont pas observé d'anormalités parmi les adultes après exposition. Les drosophiles ont également fait l'objet d'une étude par Atli et Ünlü (2006). Les auteurs ont exposé des larves et des lymphes aux CEM RF à 10 GHz, avec une intensité de champ de 3,4 V/m, pendant des durées différentes (3 à 6 heures), et ont observé une augmentation de la durée de nymphose à des niveaux non thermiques liée à la dose utilisée (aucune diminution des pourcentages de transition). Ils ont également constaté une diminution des naissances parmi le groupe ayant été exposé le plus longtemps lors de la période de développement. Cette étude n'inclut pas de groupe à exposition factice et la température n'a pas été mesurée; dès lors, cet effet pourrait être attribué au dispositif expérimental, mais pourrait aussi avoir une origine thermique. Weisman et al. (2014)

ont analysé les effets d'une exposition des drosophiles aux CEM RF de 100 à 2000 GHz sur leur durée de vie, à des niveaux d'exposition inconnus. Ils ont observé des changements en matière de mortalité parmi les insectes femelles dans la deuxième moitié de leur vie, mais pas d'effet global sur leur durée de vie.

Autres

Koschnitzke et al. (1983) ont étudié l'exposition des glandes de l'*Acricotopus lucidus* aux CEM RF de 64-69 GHz, à des densités de puissance allant jusqu'à 6 mW/cm². Certains chromosomes au sein des glandes ont été analysés après la période d'exposition et une augmentation a été observée dans une boursouffure spécifique en comparaison avec trois différents types de groupes témoins (voir Tableau 17). Les capacités de tissage de toile de l'épeire diadème (*Araneus diadematus*) exposée aux CEM RF à 9,6 GHz ont été étudiées par Liddle et al. (1986). Aucune différence n'a été observée entre le tissage de toile des araignées exposées et des araignées soumises à une exposition factice. Poh et al. (2017) ont analysé le comportement des moustiques de la fièvre jaune (*Aedes aegypti*) exposés, dans une chambre d'exposition, aux CEM RF entre 10 MHz et 20 GHz, à un niveau d'exposition inconnu. Ils n'ont pas constaté de différence dans le comportement des moustiques par rapport au groupe témoin mais n'ont pas confirmé s'il y avait eu exposition. Nicholls et Racey (2009) ont réalisé une étude sur l'abondance des chauves-souris au moyen d'un radar en bande X (8-12 GHz). Durant cette même étude, ils ont placé des pièges à insectes dans la zone exposée et ont analysé l'abondance d'insectes grâce à un radar avec deux longueurs d'impulsion différentes (0,08 μ s et 0,3 μ s) par rapport à des sessions avec des groupes témoins sans signal radar. Ils n'ont constaté aucune différence en ce qui concerne la quantité d'insectes capturés par leurs pièges.

Les études citées dans le Tableau 17 sont intéressantes, puisqu'elles révèlent les effets observés à des niveaux de CEM RF assez élevés. Il est difficile de savoir si ces conditions d'exposition se présenteront dans l'environnement, en particulier pour les non-utilisateurs. Il serait extrêmement intéressant de reproduire les études citées dans le Tableau 17 à des niveaux d'exposition plus faibles. De toute évidence, il s'avère préoccupant que la documentation sur l'exposition (in vivo) des invertébrés se limite à dix publications. Étant donné que la plupart de ces publications ont observé des effets, mais qu'aucune d'entre elles n'a effectué de tests à des niveaux d'exposition réalistes, il est nécessaire de mener davantage de recherches dans ce domaine.

Le Tableau 18 répertorie les études sur la réponse des cellules neuronales exposées à des ondes millimétriques. Pour ces études, certains invertébrés ont été disséqués en vue d'isoler un ganglion contenant un ensemble de cellules nerveuses (Pikov et Siegel, 2011; Sergii Romanenko et al., 2013; 2014; Yamaura et Chichibu, 1967), un neurone ou un ensemble de neurones spécifique (S. I. Alekseev et al., 1997; S. I. Alekseev et Ziskin, 1999), ou des mécanorécepteurs musculaires (Khramov et al., 1991). Ces ganglions ont ensuite été placés face à un guide d'ondes ou à une source de radiofréquences afin de les exposer aux CEM RF à haute fréquence. Parallèlement, les neurones ont été connectés au moyen d'électrodes afin d'enregistrer leur activité électrique. Khramov et al. (1991) ont observé une diminution réversible de la décharge neuronale des mécanorécepteurs musculaires de l'*Astacus mucus* lors de l'exposition à une fréquence de 34-78 GHz. Les valeurs d'exposition de leur étude étaient relativement élevées et les résultats observables ont été attribués à des effets thermiques. S. I. Alekseev et Ziskin (1999) puis S. I. Alekseev et al. (1997) ont analysé l'activité des neurones de la *Lymnaea stagnalis* exposée à 60-62 GHz et à 75 GHz, à des valeurs de taux spécifiques d'absorption qui ont induit des hausses de température allant jusqu'à 2 °C. Ils ont observé des modifications du taux de décharge des neurones étudiés et les ont attribuées à un effet thermique.

Tableau 17 – Vue d’ensemble des études sur les effets de l’exposition des insectes et des araignées aux CEM RF à haute fréquence (6-300 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition factice	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Acricotopus lucidus</i> (chironomide)	64-69	Glandes salivaires placées dans une cavité	2 h	Deux groupes: groupe à exposition factice ordinaire et groupe à exposition factice soumis à une autre méthode d'échauffement. Le groupe à exposition factice a subi une augmentation de la température de 2,5 °C. Mise en aveugle de l'étude.	oui	< 6 mW/cm ²	Augmentation de la température inférieure à 0,3 °C. Réduction de la taille d'une boursofleure spécifique d'un chromosome géant.	Koschnitzke et al., 1983
<i>Aedes aegypti</i> (moustique de la fièvre jaune)	0,01-20	Antenne dirigée vers la chambre d'exposition	11 h	Groupe témoin non exposé et groupe témoin protégé	oui	Non déterminé (puissance absorbée 10 dBm)	Mouvement des moustiques suivi par des caméras durant la période d'exposition. Aucun effet lié aux fréquences observé. Pas d'effet notable par rapport au groupe témoin.	Poh et al., 2017
<i>Araneus diadematus</i> (épeire diadème)	9,6	Chambre d'exposition anéchoïde	16 h	Groupe témoin à exposition factice (chambre à exposition factice)	oui	0,1 -10 mW/cm ²	Aucune altération de la capacité de tissage de toile de l'araignée.	Liddle et al., 1986
<i>Drosophila melanogaster</i> (moucheron du vinaigre)	17 et 73	Antenne à cornet	2-3 h	Échantillons non traités	non	100 mW/cm ² (73 GHz) et 60 mW/cm ² (17 GHz)	Quelques augmentations de la mortalité des œufs exposés, évolution du nombre d'adultes émergents et changements dans la répartition des sexes (17 GHz). Aucun effet systématique parmi les larves et les lymphes exposées (17 GHz). Évolution du nombre d'adultes et de la répartition des sexes (73 GHz). Aucun changement tératologique chez les adultes.	Dardalhon, Berteaud et Averbeck, 1979
<i>Drosophila melanogaster</i> (moucheron du vinaigre)	10	Antenne à cornet	3, 4, 5, 6 h	Non exposé	non	0.0156 W/m ² (mesuré en dehors du flacon de verre, le verre)	Aucune différence en matière de pourcentage de transition entre les stades de vie. Augmentation de la durée moyenne de nymphose en cas d'augmentation des CEM. Diminution des	Atli et Ünlü, 2006

						protège partiellement)	naissances parmi le groupe ayant été exposé le plus longtemps.	
<i>Drosophila melanogaster</i> (moucheron du vinaigre)	100-2000	Incertaines	30 min/jour	Groupe témoin non exposé et groupe témoin en flacon	Incertain	8,5 mW de puissance absorbée, pas de quantification de l'exposition	Aucun effet sur les mâles, mais augmentation de la survie des femelles irradiées dans la seconde moitié de leur vie. Aucune altération de la durée de vie.	Weisman et al., 2014
<i>Tenebrio molitor</i> (ténébrion meunier)	10	Guide d'ondes	20, 30 ou 120 min	Trois groupes témoins: groupe non exposé, groupe à exposition factice et groupe exposé à une température	oui	80 mW (20 ou 30 min) ou 20 mW (120 min)	Pourcentage plus faible de lymphes développées et pourcentage plus élevé de lymphes avec un développement anormal. En comparaison avec le groupe à exposition factice et le groupe témoin. Des augmentations de la température ont été observées parmi les lymphes exposées à des RF. Une autre méthode d'échauffement a été utilisée, ce qui a provoqué une hausse du nombre d'insectes anormaux, mais pas du nombre de décès. Les auteurs ont dès lors conclu que les effets doivent être de nature non thermique.	Robert L. Carpenter et Livstone, 1971
<i>Tenebrio molitor</i> (ténébrion meunier)	9	Guide d'ondes	2 h et 4 h	Trois groupes témoins: groupe non exposé, groupe à exposition factice et groupe exposé à une température (échauffement jusqu'à 29 °C)	oui	8,6 mW/cm ² et 17,1 mW/cm ²	Augmentation de la température de 1,5 °C durant la période d'exposition. Augmentation significative des décès et des anomalies parmi les groupes d'insectes exposés par rapport aux groupes témoins. Aucune différence entre les groupes exposés.	Lindauer et al., 1974
<i>Tenebrio molitor</i> (ténébrion meunier)	9	Guide d'ondes	2 h	Exposition factice	oui	0,05-20 mW (20 mW ~ 17 mW/cm ²)	Diminution du pourcentage d'adultes normaux avec la puissance absorbée. Augmentation du pourcentage d'adultes décédés et d'adultes anormaux avec la puissance absorbée. Allongement de la durée du stade de lymphe avec la puissance. Différence significative à partir de 0,4 mW/h. La dose s'avère plus importante que le niveau de puissance.	Liu, Rosenbaum et Pickard, 1975
<i>Tenebrio molitor</i> (ténébrion meunier)	9	Guide d'ondes	< 90 min	Exposition factice	oui	10-320 mW ~ 25-800 mW/g	Des anomalies sont constatées parmi les insectes adultes après une exposition aux CEM RF, tant à des niveaux thermiques que non thermiques. Il est démontré que l'humidité relative de	Green, Rosenbaum et Pickard, 1979

							l'environnement joue également un rôle dans l'expérience.	
<i>Tenebrio molitor</i> (ténébrion)	10	Antenne à cornet	4 h	Les données sur la manière dont le suivi est réalisé sont imprécises	Incertain	50 W/m ²	Aucun effet sur le nombre de difformités et la mortalité dans un ensemble. Effet avec p=0,051 dans un groupe.	Pickard et Olsen, 1979
<i>Inconnu</i>	8-12	Radar à impulsion	16 h	Exposition factice	oui	18-26 V/m (valeur maximale)	Aucune altération de la quantité d'insectes piégés en fonction de l'activation ou de la désactivation de l'installation radar. Aucune altération de la quantité d'insectes piégés en fonction de la longueur d'impulsion.	Nicholls et Racey, 2009

Tableau 18 – Vue d'ensemble des études sur la neuro-modulation due à l'exposition des invertébrés aux CEM RF à haute fréquence (6-300 GHz)

Espèce	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Exposition factice	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Astacus mucus</i> (écrevisse commune)	34-78	Des mécanorécepteurs musculaires ont été isolés de l'animal et placés face à un guide d'ondes diélectrique.	40 s	Groupe témoin exposé à une plus faible fréquence (915 MHz)	non	10 à 215 mW/cm ²	Augmentation relative de la température < 2 °C. La différence de température augmente avec la hausse de la densité de puissance. L'exposition aux ondes millimétriques provoque une diminution du taux de décharge spontanée. L'effet est réversible. Aucun effet de résonance n'est observé. Les effets liés à une exposition aux ondes millimétriques s'avèrent similaires aux effets liés à une exposition à 915 MHz. Un effet thermique est suggéré.	Khramov et al., 1991
<i>Hirudo medicinalis</i> (sangstue)	60	Un ganglion a été isolé et placé face au guide d'ondes ouvert à une extrémité.	60 s	non	non	100 à 600 µW/cm ² (différentes doses)	Des altérations réversibles de la résistance d'entrée de la membrane sont observées. Elles varient en fonction de la dose employée. La température a été mesurée et aucun changement n'a été constaté. Des effets sur la décharge de certains neurones sont observés.	Pikov et Siegel, 2011
<i>Hirudo verbena</i> (sangstue)	60	Un ganglion a été isolé et placé face au guide d'ondes ouvert à une extrémité.	60 s	Groupe témoin soumis à d'autres méthodes d'échauffement (échauffement général par bain et à la lumière rouge)	non	0,9 à 14 mW/cm ² [dosimétrie selon la méthode FDTD (<i>Finite-difference time-domain</i> , méthode de calcul de différences finies dans le domaine temporel)]	Changements dans l'activité neuronale durant l'exposition aux CEM avec ondes millimétriques. Les changements varient selon le niveau d'exposition et sont différents de ceux observés pour d'autres méthodes d'échauffement.	Sergii Romanenko et al., 2013
<i>Hirudo verbena</i> (sangstue)	60	Un ganglion a été isolé et placé face au guide d'ondes ouvert à une extrémité.	60 s	Groupe témoin soumis à d'autres méthodes d'échauffement (échauffement général par bain)		1,0 à 4,0 mW/cm ² [dosimétrie selon la méthode FDTD (<i>Finite-difference time-domain</i> , méthode de calcul de différences finies)]	Réduction du taux de décharge neuronale durant la période d'exposition. L'effet observé est l'opposé de celui de la méthode d'échauffement de substitution. Une réduction des possibilités d'action est également observée.	Sergii Romanenko et al., 2014

						dans le domaine temporel)]		
<i>Lymnaea stagnalis</i> (limnée)	60,22-62,22 et 75	Le neurone extrait dans une pipette a été exposé, dans une solution, à un guide d'ondes rectangulaire ouvert à une extrémité.	< 20 min	Échantillon placé dans les mêmes conditions que les neurones exposés	oui	500-2400 W/kg (par étapes). Ces taux spécifiques d'absorption induisent des hausses de température allant jusqu'à 2 °C	L'irradiation par ondes millimétriques a provoqué l'augmentation des amplitudes de crête, ainsi que des taux d'activation et d'inactivation des courants ioniques. Les auteurs concluent qu'il s'agit d'un effet thermique.	S. I. Alekseev et Ziskin, 1999
<i>Lymnaea stagnalis</i> (limnée)	75	Le neurone extrait dans une pipette a été exposé, dans une solution, à un guide d'ondes rectangulaire ouvert à une extrémité	< 22 min	non	non	500-4200 W/kg (par étapes). Ces taux spécifiques d'absorption induisent des hausses de température allant jusqu'à 2,2 °C	Altération du taux de décharge du neurone étudié. Les auteurs estiment qu'il est probable qu'il s'agisse d'un effet thermique.	S. I. Alekseev et al., 1997
<i>Marsupenaeus japonicus</i> (crevette japonaise)	11	Le ganglion extrait a été placé sur l'extrémité de sortie du générateur d'ondes millimétriques.	< 10 s	Non exposé	Incertain	$0,5 \times 10^{-4}$ W/mm ³	Changements dans la fréquence des impulsions neuronales.	Yamaura et Chichibu, 1967
<i>Procambarus clarkii</i> (écrevisse de Louisiane)	11	Le ganglion extrait a été placé sur l'extrémité de sortie du générateur d'ondes millimétriques.	< 10 s	Non exposé	Incertain	0.5×10^{-4} W/mm ³	Changements dans la fréquence des impulsions neuronales.	Yamaura et Chichibu, 1967
<i>Richardsonianus australis</i> (sangue)	60-90	Le ganglion extrait de la sangsue a été exposé et le nocicepteur thermosensible a fait l'objet d'une	5 min	Groupe à exposition factice et groupe témoin soumis à une autre méthode d'échauffement	oui	100 mW de puissance absorbée, 82-170 mW/cm ² dans le ganglion (simulation),	L'irradiation aux ondes millimétriques et l'échauffement par bain par conduction ont activé les neurones et augmenté la décharge neuronale. Le seuil d'activation neuronale est moins élevé	S. Romanenko et al., 2018

		analyse. Système d'exposition au guide d'ondes.				470 mW/cm ² incidents (simulation)	pour l'exposition aux ondes millimétriques que pour l'échauffement par conduction.	
--	--	---	--	--	--	---	--	--

Pikov et Siegel (2011) ont étudié l'exposition des ganglions de la sangsue *Hirudo medicinalis* à 60 GHz à des densités de puissance plus faibles ($< 10 \text{ W/m}^2$), ce qui n'a pas suscité de changements de température. Dans ces conditions d'exposition, les auteurs ont observé des changements réversibles proportionnels à la dose employée en ce qui concerne la résistance d'entrée de la membrane, ainsi que des effets sur la décharge de certains neurones. Sergii Romanenko et al. (2014; 2013) puis S. Romanenko et al. (2018) ont analysé les ganglions des sangsues *Hirudo verbena* et *Richardsonianus australis* exposées à 60-90 GHz et ont comparé leurs résultats avec l'activité neuronale des ganglions lorsque d'autres méthodes d'échauffement sont employées. Ils ont constaté des altérations de la décharge neuronale dans des conditions d'exposition à des ondes millimétriques, qui étaient considérablement différentes de celles observées parmi le groupe témoin et le groupe soumis à une autre méthode d'échauffement. Ils ont dès lors conclu que l'effet n'était pas de nature thermique. Yamaura et Chichibu (1967) ont étudié l'exposition des ganglions de *Penaeus japonica* et de *Procambarus clarkii* à une fréquence moins élevée (10 GHz), à des niveaux d'exposition relativement élevés. Ils ont observé des changements dans les fréquences des impulsions neuronales mais n'ont pas fourni d'informations supplémentaires. D'après les résultats présentés dans la Tableau 18, il est possible de conclure que l'exposition à des RF à haute fréquence peut générer des réponses neuronales chez les invertébrés dans des conditions in vitro. Il existe différentes conclusions sur la nature thermique ou non de ces effets dans la documentation disponible. Les études sont réalisées à des niveaux d'exposition relativement élevés. Il serait intéressant de mener à nouveau ces expériences en utilisant des densités de puissance moins élevées et plus réalistes.

3.2.3. Examen des effets sur les plantes et les champignons

L'analyse bibliographique de cette section a mis en évidence 54 publications sur l'exposition des champignons et des plantes aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Parmi celles-ci se trouvent six comptes rendus d'ensemble, trois études portant exclusivement sur les paramètres diélectriques, quatorze études sur l'imagerie employée pour les plantes et cinq études sur l'utilisation de CEM RF pour la télédétection. Ainsi, 26 études ont examiné les effets de l'exposition des champignons et des plantes aux CEM RF à haute fréquence. Dans cette section, les quatorze études portant sur les champignons (principalement des levures unicellulaires) et les douze études axées sur les plantes (des organismes pluricellulaires) sont abordées séparément. Toutes ces études ont été réalisées en laboratoire. Aucune étude environnementale n'a été recensée. La Figure 5 présente un organigramme de l'analyse bibliographique.

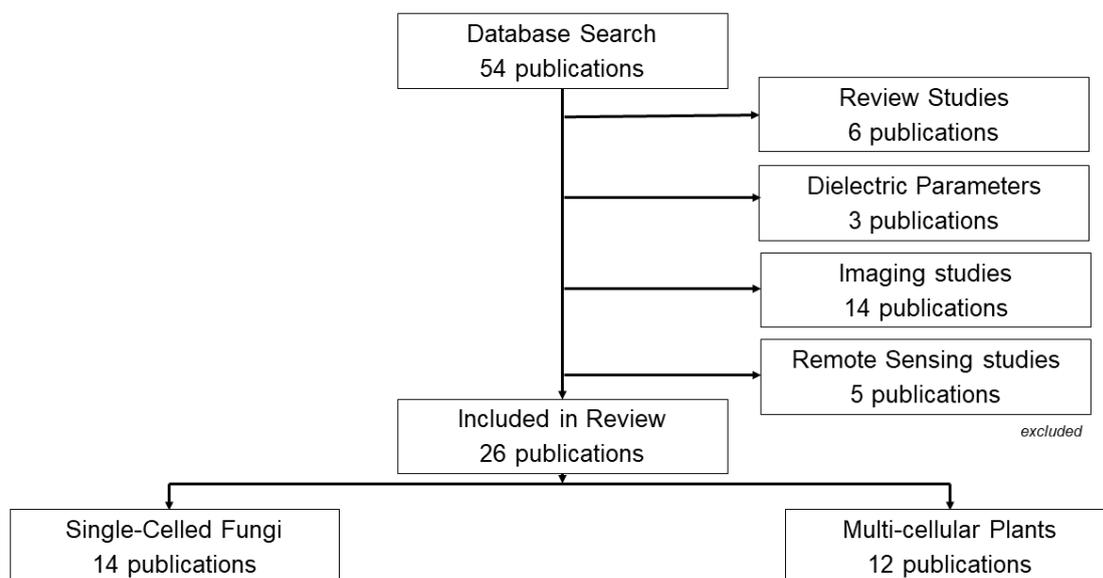


Figure 5 – Organigramme du post-traitement de l'analyse bibliographique sur l'exposition des plantes et des champignons aux CEM RF à haute fréquence

Une partie de la documentation qui concerne les plantes et les champignons dans cette gamme de fréquences se concentre sur la lutte contre les organismes nuisibles au moyen de CEM RF. Afin d'étudier le chauffage diélectrique d'insectes à l'intérieur de matières végétales, les paramètres diélectriques des plantes sont analysés dans la gamme de fréquences comprise entre 6 et 300 GHz (Nelson, 1991; Venkatesh et Raghavan, 2004; Das, Kumar et Shah, 2013a). Ces études ne portent toutefois pas sur les effets subis par les matières végétales après ou durant leur exposition.

Un ensemble d'études utilise des CEM RF dans la gamme de RF supérieure (> 100 GHz) afin de procéder à la mise en image des plantes, grâce à l'imagerie térahertz. Des travaux théoriques se concentrent sur la réflexion et la transmission par les feuilles des plantes (Afsharinejad et al., 2017; R. Gente et al., 2013; Hadjiloucas, Karatzas et Bowen, 1999), mais pas sur leur absorption dans la gamme de fréquences étudiée. La technique est appliquée à plusieurs espèces végétales, et la dépendance de la réflexion et de la transmission envers la teneur en eau dans les feuilles est démontrée (Born et al., 2014; Breitenstein et al., 2011; Castro-Camus, Palomar et Covarrubias, 2013; Federici, 2012; Ralf Gente et Koch, 2015; Jördens et al., 2009; Nie et al., 2017; Santesteban et al., 2015; Song et al., 2018; Torres et al., 2016; Zahid et al., 2019). Cependant, aucune des références dans ce domaine n'analyse les effets potentiels de l'imagerie elle-même. Au contraire, la technique est proposée comme une bonne solution pour procéder à la création d'images à caractère inoffensif, puisqu'elle n'est pas supposée avoir d'effets sur les feuilles utilisées. Au vu du nombre très limité de résultats disponibles dans la documentation sur les effets potentiels de ces expositions (voir fig. 5), cette hypothèse ne semble pas étayée et des travaux supplémentaires sont nécessaires pour valider l'innocuité de ces expositions pour les plantes.

Dans un domaine connexe, les mêmes CEM RF sont utilisés pour la télédétection de la croissance et de la teneur en eau des plantes au moyen d'émetteurs satellites (Ferrazzoli et Guerriero, 1996; Hunt et al., 2011; Calvet et al., 1994) et mobiles (Sawada, Tsutsui et Koike, 2017; Q. Wang et al., 2017).

Les effets de l'exposition des plantes aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 et 300 GHz ont été étudiés précédemment par Alain Vian et al. (2016), tandis que Das, Kumar et Shah (2013a) ont analysé les propriétés diélectriques et le chauffage dans plantes dans la même gamme de fréquences. M. Tafforeau et al. (2006) ont étudié les réponses des plantes aux stimuli

environnementaux, notamment aux CEM RF. Tanner et Romero-Sierra (1974) ont présenté une vue d'ensemble des travaux (généralement non publiés) réalisés dans leur laboratoire sur l'exposition des plantes aux CEM RF à haute fréquence. Ils décrivent des expériences à une fréquence de 10 GHz et à des intensités allant jusqu'à 190 mW/cm² qui ont mis en évidence plusieurs changements physiologiques parmi les plantes exposées à ces CEM RF. Des expositions de 10 à 30 minutes à ces niveaux d'exposition ont provoqué le flétrissement de plusieurs plantes (notamment la *Mimosa pudica*). Les mêmes résultats (non publiés) ont été présentés par Del Blanco, Romero-Sierra et Tanner (1973). Aucune reproduction publiée des résultats n'a été trouvée.

Un compte rendu d'ensemble (Letokhov, 1974) a fait part de changements dans les taux de croissance des levures unicellulaires à des fréquences spécifiques dans la gamme comprise entre 6 et 300 GHz. Les expériences n'ont toutefois pas été décrites de manière suffisamment détaillée pour permettre une reproduction scientifique. Néanmoins, une série d'études ont été menées sur les taux de croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae*, le plus souvent à la fréquence spécifique de 42 GHz (voir Table 19). Grundler et al. (W. Grundler et al., 1982; W. Grundler et Keilmann, 1978; 1983; 1989; W. Grundler, Keilmann et Fröhlich, 1977; Werner Grundler et al., 1983) ont publié une série de travaux qui démontrent l'augmentation des taux de croissance de la *Saccharomyces Cerevisiae* après une exposition aux CEM RF à 42 GHz. Ces documents ont toutefois été contestés, et d'autres auteurs ont essayé de reproduire ces résultats (Gandhi, 1983), en utilisant des mesures plus strictes pour les groupes témoins (de simulation). Ni Furia, Hill et Gandhi (1986) ni Gos et Eicher (1997) ne sont parvenus à reproduire l'augmentation des taux de croissance lors d'une exposition aux CEM RF, et Jelínek et Šároch (2007) n'ont pas pu observer de résonances à 42 GHz dans les cultures de levure étudiées. Le taux de survie de la *Saccharomyces cerevisiae* après une exposition aux CEM RF a également fait l'objet d'analyses (voir Table 19). Dardalhon, Averbeck et Berteaud (1981; 1979) n'ont pas observé d'effets sur le taux de survie des cellules soumises à un chauffage diélectrique par rapport aux cellules chauffées au moyen d'une autre méthode. Pakhomova, Pakhomov et Akyel (1997) ont analysé la coexposition à des ultraviolets (UV) et aux CEM RF de 60 GHz et n'ont pas observé de modification du taux de survie après l'exposition aux ondes millimétriques. Dardanoni, Torregrossa et Zanforlin (1985) ont étudié une autre levure unicellulaire, le *Candida albicans*, exposée aux CEM RF de 72 GHz. Ils ont constaté des changements dans le taux de survie des cellules exposées en comparaison avec les cellules soumises à une simulation d'exposition.

Table 19 – Vue d'ensemble des études sur les effets de l'exposition de la *Saccharomyces cerevisiae* aux CEM RF à haute fréquence (6-300 GHz)

Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
40-42	Guide d'ondes	4 h	Simulation d'exposition avec suivi de la température	oui	20,0 + 0,5 mW.	Aucun effet non thermique statistiquement important. Aucune différence en matière de capacité d'absorption dans le spectre du visible ni de taux de croissance entre le groupe témoin exposé et le groupe de simulation.	Furia, Hill et Gandhi, 1986
9,4, 17 et 70-75	Champ proche de l'antenne à cornet	30-120 min	Simulation d'exposition	oui	1 à 60 mW/cm ² (70-75 GHz) 1 à 50 mW/cm ² (9-17 GHz)	Démonstration du chauffage diélectrique. Aucun effet significatif sur le taux de survie en comparaison avec d'autres méthodes de chauffage.	Dardalhon, Averbeck et Bertheaud, 1981; 1979
61,02 et 61,42	Guide d'ondes	30 min	Groupe témoin de simulation et groupe témoin parallèle	oui	0,13 mW/cm ²	Aucune altération du taux de survie des cellules après une exposition aux UV. Aucun changement en matière de mutation inverse. Augmentation de l'incidence des convertisseurs dans les cellules exposées aux CEM RF.	Pakhomova, Pakhomov et Akyel, 1997
42	Guide d'ondes et antenne à cornet	imprécis	Deux chambres d'essai identiques ont été construites dans un système d'exposition afin de réaliser des suivis et des tests de manière simultanée.	oui	0,5 mW/cm ² et 50 mW/cm ²	Aucun effet sur le taux de division cellulaire.	Gos et Eicher, 1997
42	Guide d'ondes	< 5 h	Groupe témoin non irradié	imprécis	6-34 mW	Augmentation du taux de croissance dans une gamme de fréquences spécifique.	W. Grundler et al., 1982
42	Guide d'ondes	< 5 h	Groupe témoin non irradié	imprécis	2 mW/cm ²	Augmentation du taux de croissance.	W. Grundler et Keilmann, 1978
42	Guide d'ondes et antenne	imprécis	imprécis	imprécis	< 22 mW	Augmentation du taux de croissance dans une gamme de fréquences spécifique.	W. Grundler et Keilmann, 1983
42	Guide d'ondes et antenne	imprécis	imprécis	imprécis	< 30 mW	Augmentation du taux de croissance dans une gamme de fréquences spécifique. Aucune augmentation de la température.	Werner Grundler et al., 1983
42	Guide d'ondes	< 3 h	Groupe témoin non irradié	imprécis	1 mW/cm ²	Augmentation du taux de croissance dans une gamme de fréquences spécifique.	W. Grundler et Keilmann, 1989

42	Guide d'ondes	imprécis	non	non	Quelques mW/cm ²	Le taux de croissance reste constant ou augmente, en fonction de la fréquence.	W. Grundler, Keilmann et Fröhlich, 1977
42	Cavité résonnante	65 min	imprécis	imprécis	imprécis	Aucune émission de CEM RF à 42 GHz n'a été mesurée en provenance des cellules de levure.	Jelínek et Šároch, 2007

La Table 20 répertorie les études sur l'exposition des plantes pluricellulaires aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Ces études ont été confrontées aux mêmes problèmes que les études réalisées sur les plantes et les champignons à des fréquences moins élevées: 1) la mauvaise qualité des groupes témoins et l'absence de groupes témoins de simulation; 2) la quantification et la stabilité de l'exposition aux CEM RF. Aucune étude comportant un groupe témoin explicitement non exposé n'a été trouvée. Néanmoins, étant donné que les CEM RF étudiés n'étaient pas largement utilisés à l'époque des études, il est admis de supposer qu'un groupe témoin, qui n'a pas été explicitement soumis à une exposition dans le cadre de l'expérience, n'était pas exposé. Toutefois, seule l'une des études citées dans la Table 20 a eu recours à une simulation d'exposition (Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna, Takashi et Kimura, 2014). Comme indiqué à la section 3.1.3, il est actuellement difficile de savoir si la simulation d'exposition des plantes aux CEM RF a eu un effet sur les paramètres analysés dans le cadre des études sur l'exposition aux CEM RF. Dès lors, il n'est pour le moment pas possible de déterminer si les résultats des études citées dans la Table 20 ont été causés par l'exposition des plantes au dispositif d'exposition ou aux CEM RF émis par le dispositif d'exposition. Plusieurs études ne fournissent aucun résultat de test statistique (voir Table 20); elles ne sont pas abordées ci-après.

Le chauffage diélectrique des matières végétales est également possible dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Cette constatation a été démontrée par Watters (1976) pour le *Triticum aestivum* soumis à 8,5 GHz. Das, Kumar et Shah (2013a) ont présenté une vue d'ensemble des autres études qui ont analysé le chauffage diélectrique dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz.

Certains effets non thermiques ont été mis en évidence en comparaison avec le groupe témoin (et non avec le groupe de simulation). Marc Tafforeau et al. (2004) ont étudié l'exposition du lin aux CEM RF à 105 GHz pendant deux heures. Ils ont constaté une augmentation du nombre de méristèmes dans la plante après son exposition dans des conditions non thermiques (pas de changement de température). Scialabba et Tamburello (2002) ont analysé des semences de radis exposées aux CEM RF à 10-13 GHz pendant une plus longue période (96 h) à des niveaux d'exposition relativement bas. Ils ont observé une diminution de la germination par rapport au groupe témoin, une relation entre la dose et la diminution de la germination, une réduction du poids à l'état frais par rapport au groupe témoin et une réduction de la longueur de l'hypocotyle en fonction de la dose employée. Aucune mesure de la température n'a toutefois été réalisée. Bigu-Del-Blanco, Bristow et Romero-Sierra (1977) ont étudié l'exposition du *Zea mays* aux CEM RF à 9 GHz et à une densité de puissance de 10-30 mW/cm² durant 22 à 24 heures. Ils ont observé une réduction de la croissance durant les deux premières semaines de croissance. ils ont également constaté une légère hausse de la température (4 °C) mais n'ont pas observé le même effet parmi un groupe témoin positif (pas d'exposition et augmentation de la température de 4 °C).

Table 20 – Vue d’ensemble des études sur les effets de l’exposition des plantes aux CEM RF dans la gamme de fréquences supérieure étudiée

Espèces de plantes	Fréquence (GHz)	Conditions d'exposition	Durée	Groupe témoin	Simulation	Niveau d'exposition	Effet de l'exposition aux CEM RF	Référence
<i>Cicer arietinum</i> (pois chiche)	8,5-10,3	Antenne à cornet	30 min, 12 min à 28 min à 9.6 GHz	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition de groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	-1 à 5 dBm	Pas d'effet notable dû à la fréquence. Pas de tendance notable liée à l'augmentation de la puissance. Augmentation du taux de germination, réduction de la longueur des racines, diminution du pourcentage en masse et réduction de la hauteur des plantes en cas d'augmentation de la durée d'exposition. Augmentation du taux de germination, réduction de la longueur des racines, diminution du pourcentage en masse et réduction de la hauteur des plantes en cas d'augmentation de la durée d'exposition. Aucune indication de résultats de test statistique, de signification ou de données.	Ragha et al., 2011
<i>Chara braunii</i>	6,8-8,2	Cellule microruban	< 4 s	imprécis	imprécis	10 mW/cm ²	Aucune altération du potentiel de repos vacuolaire.	Barsoum et Pickard, 1982
<i>Daucus Sativus Röhl</i> (carotte)	9,3	Cavité	5, 10, 20 min	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupe témoin séparé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	606 kV/m	Augmentation de la germination et de la vigueur germinative (uniquement pour 5 et 10 minutes, pas pour 20 minutes). Diminution de la hauteur des plants.	Radzevičius et al., 2013
<i>Lemna minor</i> (petite lentille d'eau)	8	Antenne microruban	0,5 h, 1 h et 24 h	Le groupe témoin a été placé dans une chambre anéchoïde identique.	oui	45-50 V/m	Les paramètres de fluorescence chlorophyllienne ont changé par rapport au groupe témoin, mais les résultats dépendent de la durée d'exposition à 8 GHz.	Mudalige Don Hiranya Jayasanka Senavirathna, Takashi et Kimura, 2014
<i>Linum usitatissimum</i> (lin)	105	Antenne à cornet	2 h	Trois types de groupes témoins différents (calcium	imprécis	10 W/m ² (mesuré)	Augmentation de la production de méristèmes au niveau de l'hypocotyle due à une exposition à 105 GHz dans des conditions de	Marc Tafforeau et al., 2004

				uniquement, CEM RF uniquement, et les deux)			privation de calcium. Aucune augmentation de la température.	
<i>Lycopersicon esculentum mill.</i> (tomate)	9,3	Cavité	10 min	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupes témoins séparés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	606 kV/m	L'exposition à des micro-ondes à haute puissance provoque une augmentation de la vigueur germinative et de la germination parmi les plus jeunes semences. Aucun effet sur les semences plus anciennes. Effet positif significatif sur le poids sec et la hauteur des pousses des plants de tomate.	Radzevičius et al., 2013
<i>Nitella flexilis</i>	6,8-8,2	Cellule microruban	< 4 s	imprécis	imprécis	10 mW/cm ²	Aucune altération du potentiel de repos vacuolaire.	Barsoum et Pickard, 1982
<i>Raphanus sativus L.</i> (radis)	9,3	Cavité	10 min	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupes témoins séparés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	606 kV/m	Augmentation du taux de germination pour les semences plus anciennes, pas pour les plus jeunes semences. Aucun effet notable sur la vigueur germinative. Augmentation de la hauteur après une exposition aux CEM RF.	Radzevičius et al., 2013
<i>Raphanus sativus</i> (radis)	10,5 et 12,7	Oscillateur Gunn (cavité ouverte à une extrémité) et antenne à cornet	96 h	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	8 ou 14 mW and < 0,4 m de distance de la source (les niveaux semblent bas)	Réduction des germinations en comparaison avec le groupe témoin; germinations plus faibles en cas d'exposition à la dose plus élevée par rapport à la dose moins élevée. Réduction du poids à l'état frais du groupe soumis à l'exposition la plus importante. Réduction de la longueur de l'hypocotyle, les réductions étant accrues en cas de puissances plus élevées. La température n'est pas mesurée.	Scialabba et Tamburello, 2002
<i>Secale cereale</i> (seigle)	9,2-11,5	Antenne à cornet	2 h	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupes témoins séparés. L'exposition du	non	0,9 mW/cm ²	Aucun effet significatif sur la hauteur de la plante. Réduction du poids sec pour les plantes exposées (aucun résultat de test présenté).	Creanga et al., 1995

				groupe témoin n'a pas été mesurée.				
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	8,5-10,3	Antenne à cornet	30 min, 12 min à 28 min à 9.6 GHz	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	-1 à 5 dBm	Pas d'effet notable dû à la fréquence. Réduction de la taille de la plante, de la longueur des racines et du pourcentage du poids sec en cas d'augmentation de la puissance absorbée à 9,6 GHz. Diminution du taux de germination et réduction de la hauteur des plantes en cas d'augmentation de la durée d'exposition. Aucune indication de résultats de test statistique, de signification ou de données.	Ragha et al., 2011
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	10,5	Antenne à cornet	15, 45 ou 75 min.	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupe témoin séparé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	inconnu	Quatorze jours après l'exposition, augmentation de la longueur des racines et des pousses, ainsi que de la masse verte.	Hamada, 2007
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	8,5	Antenne à cornet	< 120 s	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupes témoins séparés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	30 W	Chauffage du blé jusqu'à 60 °C.	Watters, 1976
<i>Vigna aconitifolia</i> (haricot mat)	8,5-10,3	Antenne à cornet	30 min, 12 min à 28 min à 9.6 GHz	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	-1 à 5 dBm	Pas d'effet notable dû à la fréquence. Augmentation de la hauteur de la plante, de la longueur des racines et du pourcentage du poids sec avec la puissance des CEM RF. Augmentation du taux de germination, réduction de la longueur des racines, diminution du pourcentage en masse et réduction de la hauteur des plantes en cas	Ragha et al., 2011

							d'augmentation de la durée d'exposition. Aucune indication de résultats de test statistique, de signification ou de données.	
<i>Vigna radiata</i> (haricot Mungo)	8,5-10,3	Antenne à cornet	30 min, 12 min à 28 min à 9.6 GHz	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	-1 à 5 dBm	Pas d'effet notable dû à la fréquence. Pas de tendance notable liée à l'augmentation de la puissance. Diminution du taux de germination, réduction de la longueur des racines et réduction de la hauteur des plantes en cas d'augmentation de la durée d'exposition. Aucune indication de résultats de test statistique, de signification ou de données.	Ragha et al., 2011
<i>Zea mays</i> (maïs)	9	Inconnu	22-24 h	Le groupe témoin est un groupe non exposé. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	10-30 mW/cm ² (mesuré)	La température augmente de jusqu'à 4 °C au plus haut niveau d'exposition, mais le groupe témoin positif en matière de température a été contrôlé et aucun effet n'a été observé. Réduction de la croissance durant les deux premières semaines suivant l'exposition.	Bigu-Del-Blanco, Bristow et Romero-Sierra, 1977
<i>Zea mays</i> (maïs)	10,75	Exposition à l'antenne à cornet	1, 2, 4, 12 heures.	Le groupe témoin est un groupe non exposé. Pas de groupes témoins séparés. L'exposition du groupe témoin n'a pas été mesurée.	non	1 mW/cm ²	Augmentation de la masse sèche des plantes exposées en comparaison avec les plantes non exposées. Toutefois, ces plantes étaient aussi des plantes plus anciennes en phase de croissance.	Ursache et al., 2009

4. Limitations

Les CEM non ionisants sont utilisés pour des applications autres que les télécommunications. Dès lors, une exposition aux CEM RF à des fréquences qui ne sont pas comprises dans les gammes de fréquences étudiées est possible (Bhatt et al., 2016; Velghe et al., 2019a; ECC, 2019) (voir Tableau 1). Ces fréquences ne sont toutefois pas liées au déploiement et à l'exploitation des réseaux de cinquième génération (ECC, 2019; Pujol et al., 2020). Par conséquent, les études sur l'exposition aux CEM RF à ces fréquences et les effets potentiels de ces expositions ne sont pas incluses dans la présente analyse (voir section 2.2).

Dans la gamme de fréquences inférieure des CEM RF (< 200 MHz), de précédentes études ont prouvé qu'une exposition aux CEM RF à une intensité relativement faible, c'est-à-dire à des niveaux d'exposition non thermiques, pouvait perturber la magnétoréception des organismes (Tomanova et Vacha, 2016; Vacha, Puzova et Kvicalova, 2009; Engels et al., 2014; Hiscock et al., 2016; 2017; Hore et Mouritsen, 2016; Mouritsen, 2018; Ritz et al., 2004; Schwarze et al., 2016; Bartos et al., 2019; Granger et al., 2020; Kavokin et al., 2014; Malkemper et al., 2015). Ces fréquences ne sont toutefois pas utilisées par les réseaux de télécommunication 5G et ces études ne sont donc pas analysées dans la présente publication.

Afin de doter l'analyse d'une structure, la présente étude est divisée en six catégories fondées sur la fréquence de l'exposition et les groupes taxonomiques. Trois groupes ont été utilisés: 1) les invertébrés, 2) les vertébrés et 3) les plantes et les champignons. Au vu du regroupement des champignons et des plantes dans une seule catégorie, la présente étude pourrait donner l'impression que ces deux types d'espèces sont associées l'une à l'autre, alors que les plantes et les champignons constituent deux groupes taxonomiques distincts dotés de propriétés différentes. Le regroupement des plantes et des champignons dans une seule et même catégorie dans le cadre de la présente étude ne repose sur aucune base biologique mais a été effectué pour deux autres raisons. Tout d'abord, les plantes et les champignons ont été groupés dans les précédentes analyses bibliographiques dans ce domaine (Cucurachi et al., 2013; Malkemper et al., 2018; Balmori, 2009). Ensuite, une section distincte sur les champignons dans la gamme de fréquences inférieure étudiée ne pourrait s'appuyer que sur un ensemble très limité de documents (un ou deux). Il a dès lors été décidé de regrouper les plantes et les champignons dans une même catégorie.

Dans l'analyse et la discussion des résultats obtenus lors de l'exposition, aucune hiérarchie entre ces différents résultats n'a été établie, contrairement aux études précédentes dans le domaine, qui effectuaient des classements en fonction des résultats de l'exposition et établissaient une distinction entre les différentes réponses (Vecchia, 2009). Dans le présent rapport, il appartient au lecteur d'établir un ordre de priorité entre les différents résultats potentiels obtenus après une exposition aux CEM RF.

La méta-analyse présentée à la section 3.1.1 n'inclut pas de discussion relative aux études sur les résultats en matière de cancer, de reproduction et de développement obtenus à la suite d'une exposition, même si de tels travaux existent. Ces thématiques sont abordées dans une étude parallèle réalisée par le STOA.

5. Conclusions

5.1. Fréquences de télécommunication inférieures (450 MHz-6 GHz)

5.1.1. Vertébrés

Études cellulaires

Parmi les études d'évaluation sur la génotoxicité cellulaire de l'exposition aux CEM RF, cinq études ont explicitement conclu que l'effet génotoxique de cette exposition à de faibles niveaux était (très) faible, voire inexistant. Deux études ont conclu qu'il existe un effet génotoxique, mais elles sont fondées sur une sélection très limitée de la documentation disponible. Les autres études, notamment l'étude d'évaluation la plus récente et la plus vaste sur les effets génotoxiques cellulaires de l'exposition aux CEM RF (Vijayalaxmi et Prihoda, 2018), n'ont pas tiré de conclusions ou ont affirmé que la documentation disponible présentait des résultats variables ou peu concluants. Les analyses de l'effet de l'exposition aux CEM RF sur la transformation cellulaire, et en particulier sur l'apoptose, ont donné lieu à des conclusions contrastées. La plupart des études n'ont pas présenté de conclusions. Celles qui ont formulé une conclusion indiquent qu'aucun effet lié à l'exposition à des RF n'a été observé sur l'apoptose et que les preuves relatives aux effets sur la réplication cellulaire sont peu nombreuses. Il semble toutefois que ces conclusions soient fondées sur des études portant sur des cellules humaines et que les analyses sur les animaux vertébrés qui figurent dans ces études présentent des résultats variables. Plusieurs études ont fait état de modifications des canaux ioniques passant par la membrane cellulaire en cas d'exposition aux CEM RF. D'autres études ont conclu que les éléments prouvant la signalisation ionique induite par des RF étaient peu nombreux. Les études ont formulé des conclusions contrastées sur la possibilité que l'exposition aux CEM RF entraîne la production de protéines de choc thermique. La plupart des études ont conclu que l'exposition aux CEM RF avait très peu, voire pas d'effets sur la production d'espèce réactive de l'oxygène (ROS). Deux études ont conclu que l'exposition aux CEM RF pouvait entraîner l'activation de neurones isolés. Les études qui ont analysé les effets sur l'expression génétique dans les cellules des animaux vertébrés affirment qu'il n'existe pas suffisamment de travaux pour formuler des conclusions.

Études sur les animaux

Plusieurs analyses ont porté sur le chauffage diélectrique des animaux et démontré une augmentation de la température corporelle centrale. La réponse thermorégulatrice à une exposition de l'ensemble du corps aux CEM RF ne diffère pas de la réponse à d'autres méthodes de chauffage. Cette réponse inclut des altérations des effets sur la production métabolique de chaleur, la fréquence cardiaque et la tension artérielle. Les études sur la génotoxicité de l'exposition aux CEM RF fondées sur des analyses in vivo ont donné lieu à des résultats contradictoires. Il existe certainement des travaux qui ont démontré l'effet génotoxique de l'exposition aux CEM RF in vivo, mais certains d'entre eux font l'objet de critiques dans les études d'évaluation. Plusieurs études ont porté sur les changements (transitoires) dans la perméabilité de la barrière hématoencéphalique (BHE) induits par l'exposition aux CEM RF. Certaines analyses ont conclu que la perméabilité de la BHE pouvait être altérée par des niveaux élevés (localisés) de taux spécifiques d'absorption. D'autres travaux concluent qu'il existe peu d'éléments pour prouver ces effets. Une étude explique l'hétérogénéité de ces conclusions par le fait que des études antérieures ont découvert des effets, mais que les études plus récentes de meilleure qualité ne sont pas parvenues à reproduire ces résultats. Deux études ont analysé les effets de l'exposition aux CEM RF sur les signaux des électroencéphalogrammes (EEG) et sur l'activité électrique du cerveau. Une étude a porté sur le fonctionnement et la structure du cerveau et a fait état de résultats variables sur ces questions. Une

étude a été axée sur les effets de l'exposition aux CEM RF sur les propriétés des neurotransmetteurs. Plusieurs travaux affirment que les animaux peuvent entendre les CEM RF pulsés au-delà d'un certain seuil, c'est-à-dire qu'ils possèdent une «capacité d'audition des micro-ondes». Ils indiquent cependant également qu'il n'existe pas vraiment de preuve que les signaux de télécommunications peuvent entraîner cet effet. Un nombre très limité d'études ont analysé les répercussions de l'exposition aux CEM RF sur le système endocrinien, et la majorité de celles-ci n'ont observé aucun effet. La plupart des travaux consacrés aux effets sur le système cardiovasculaire et l'exposition aux CEM RF étudient ces effets comme faisant partie d'une réponse thermique au chauffage diélectrique. Les études qui n'ont pas fait état d'une réponse thermorégulatrice n'ont pas révélé d'effets sur la fréquence cardiaque et la tension artérielle. Les travaux sur l'exposition aux CEM RF et les effets sur le système immunitaire et l'hématologie ont mis en évidence des effets transitoires de l'exposition aux CEM RF qui pourraient relever d'une réponse thermorégulatrice. Seule une étude a examiné les effets de l'exposition aux CEM RF dans cette gamme de fréquences sur la peau. Elle a présenté des résultats variables. Certains travaux ont porté sur les effets oculaires d'une exposition aux CEM RF. Ils ont indiqué l'existence de tels effets, mais ceux-ci pourraient être de nature thermique. Des études relatives aux effets sur le comportement des vertébrés d'une exposition aux CEM RF ont fait état de réponses comportementales au chauffage diélectrique et de résultats contrastés quant aux réponses comportementales à une exposition non thermique.

Études environnementales

Les études environnementales sur l'exposition aux CEM RF et le comportement des vertébrés ont principalement porté sur la nidification, la reproduction, l'orientation et l'abondance des animaux à proximité des sources de CEM RF. Certaines études concluent que l'exposition aux CEM RF peut entraîner une modification du comportement des oiseaux et des chauves-souris. Deux études sur les vaches qui ont fait l'objet d'un examen ont également démontré les effets de l'exposition aux CEM RF sur le développement de ces animaux. Quelques travaux ont fait part d'effets sur la reproduction des oiseaux en cas d'exposition aux CEM RF. Une étude a analysé les effets de l'exposition aux CEM RF à basse fréquence sur l'orientation des oiseaux.

5.1.2. Invertébrés

L'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 0,4 GHz et 6 GHz a fait l'objet d'études par plusieurs auteurs. Le chauffage diélectrique des invertébrés au moyen de CEM RF est étudié dans de nombreux travaux et les propriétés diélectriques des invertébrés dans cette gamme de fréquences ont également fait l'objet d'analyses. La plupart des études qui ne ciblent pas le chauffage diélectrique sont axées sur les effets en matière de développement, de génétique et de comportement. Les études in vitro sur l'exposition des cellules neuronales des invertébrés aux CEM RF ont démontré une augmentation de l'activité neuronale. Les études in vivo en laboratoire des invertébrés se heurtent à plusieurs difficultés et leurs résultats ne sont pas concluants en ce qui concerne une série de paramètres examinés. Il est nécessaire de mener des études permettant de mieux évaluer l'exposition des groupes exposés, des groupes de simulation et des groupes témoins. Les études environnementales présentent une approche intéressante, dans le sens où elles utilisent, de par leur conception, des conditions d'exposition réalistes. Cependant, elles connaissent également des limites qui leur sont propres dans l'évaluation de l'exposition. Les travaux sur les invertébrés autres que des insectes sont sous-représentés dans cette catégorie (9 études examinées sur 70). Étant donné que toutes les études ont révélé des effets liés à l'exposition aux CEM RF, mais que certains travaux présentent des lacunes expérimentales, il semble justifié d'effectuer davantage de recherches dans ce domaine.

5.1.3. Plantes et champignons

Le chauffage diélectrique des plantes et des semences au moyen de CEM RF inférieurs à 6 GHz est possible en utilisant des niveaux élevés de CEM RF. Ce chauffage peut avoir des effets bénéfiques

sur certaines plantes en cas de durées d'exposition très courtes, mais provoque la mort des plantes après une certaine durée d'exposition. À des niveaux moins élevés d'exposition aux CEM RF, les effets démontrés dans les études semblent se produire sur une échelle de temps relativement courte et en cas de fréquences, de modulations ou d'exposition particulières. Aucune étude reproduisant de tels effets n'a été trouvée. Les travaux sur l'exposition à plus long terme à une faible intensité (en comparaison avec les niveaux de CEM RF nécessaires pour le chauffage diélectrique) ne semblent indiquer aucun effet, mais le nombre d'études ainsi que le nombre de plantes et surtout de champignons analysés sont limités. Certaines études environnementales intéressantes ont été proposées, mais elles manquent actuellement de groupes témoins adéquats. À l'avenir, les recherches dans ce domaine devraient accorder une priorité: 1) à l'amélioration de la qualité des groupes témoins et de simulation, 2) au contrôle de la température durant la totalité de l'expérience, et 3) à la quantification de l'exposition aux CEM RF pour le groupe témoin et le groupe témoin de simulation au fil du temps durant la totalité de l'expérience.

5.2. Fréquences de télécommunication supérieures (6-300 GHz)

5.2.1. Vertébrés

Études sur les cellules

Plusieurs études sur les cellules présentent une démonstration du chauffage diélectrique des cellules. Il existe un nombre limité de travaux sur la génotoxicité, dont le suivi et l'évaluation de l'exposition sont insuffisants. L'activation neuronale au moyen de CEM RF pulsés a fait l'objet d'analyses ayant recours à des groupes témoins de haute qualité. Des changements dans les paramètres du potentiel d'action composite en cas d'exposition aux CEM RF ont été démontrés. Les travaux sur les changements dans la transformation cellulaire n'ont montré aucun effet non thermique. D'autres études in vitro ont révélé une augmentation de la production d'espèce réactive de l'oxygène dans les neutrophiles des souris exposées aux CEM RF. Il est difficile de savoir si cet effet est d'origine thermique ou non. Certains effets sur les paramètres des canaux ioniques ont été mis en évidence, mais il s'est avéré qu'ils étaient de nature thermique. Aucun effet sur le métabolisme cellulaire ni sur les récepteurs à la surface d'une cellule n'a été constaté chez les rats.

Études sur les animaux

Plusieurs travaux ont révélé des hausses de la température (corporelle centrale) dues à une exposition aux CEM RF. À de très hautes densités de puissance, cette exposition peut entraîner le décès des vertébrés, du fait d'une défaillance circulatoire. Des seuils de densité de puissance et de durée d'exposition ont été déterminés pour les rats et les souris, et le comportement de plusieurs paramètres corporels (tension artérielle, fréquence cardiaque, température centrale et cutanée) durant le chauffage aux CEM RF a été analysé. Les aspects comportementaux ont été étudiés chez des animaux exposés à des densités de puissance bien plus faibles. Les analyses du comportement des animaux face à un radar en bande X ont donné lieu à des résultats contrastés. Certaines études ont fait état d'altérations du comportement, tandis que d'autres n'ont révélé aucun effet. Les effets sur la reproduction ont également été étudiés. Des travaux sur le sperme animal soumis à 10 GHz ont mis en évidence une baisse de la production spermatique lors d'une exposition à un niveau relativement élevé durant 52 jours. L'effet semble de nature thermique. Les analyses de la croissance des cellules tumorales injectées aux rongeurs ont révélé des effets variables. Les travaux qui ont constaté des effets ont fait état d'une réduction du développement de la tumeur. L'exposition des yeux aux CEM RF peut induire des lésions de la cornée et entraîner une cataracte. Il existe cependant un débat sur les valeurs seuils réelles nécessaires pour que cet effet se produise. Certains effets sur la neurostimulation in vivo sont décrits, mais le nombre de travaux sur ce sujet est très limité. Plusieurs études (du même groupe de recherche) ont démontré que l'exposition aux CEM RF pouvait avoir un effet hypoalgésique sur les souris. Les effets des CEM RF sur les réponses immunitaires ont été examinés par plusieurs auteurs, dont la plupart montrent que les CEM RF à

haute fréquence peuvent être utilisés pour provoquer une réponse anti-inflammatoire, jusqu'à un certain dosage. Enfin, seule une étude a observé qu'une exposition aux CEM RF entraînait des effets sur le spectre des EEG.

5.2.2. Invertébrés

Le chauffage diélectrique des invertébrés dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz a fait l'objet de démonstrations dans plusieurs travaux. Des études sur l'exposition aux CEM RF à une intensité relativement faible ont fait état d'effets sur les réponses neuronales (in vitro) et sur le développement des insectes (in vivo). Deux publications présentent des expériences à des niveaux de CEM RF inférieurs aux restrictions de base de la CIPRNI dans cette gamme de fréquences et observent certains effets sur le développement des insectes. Il est nécessaire de mener davantage de recherches sur ces niveaux d'exposition afin de vérifier certains des effets démontrés à des niveaux d'exposition réalistes. Le nombre d'études in vivo sur l'exposition des invertébrés aux CEM RF dans la gamme de fréquences supérieure est très limité et devrait être élargi à l'avenir.

5.2.3. Plantes et champignons

Des études ont été réalisées sur le chauffage diélectrique des plantes dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz. Afin de démontrer d'autres effets, les études futures devraient mettre l'accent sur une évaluation adéquate de l'exposition des groupes exposés, des groupes témoins et des groupes de simulation. En outre, il conviendrait d'évaluer si une simulation d'exposition est nécessaire dans ces études. Les séries de travaux présentées dans la table 20 démontrent qu'une simulation d'exposition adéquate peut modifier considérablement l'interprétation des résultats dans ce domaine.

6. Options stratégiques

Sur la base de l'analyse proposée dans le présent document et des conclusions formulées, quatre options stratégiques sont suggérées.

6.1. Financement des recherches sur l'exposition environnementale aux CEM RF

Les lignes directrices qui forment la base de l'élaboration des politiques en matière d'exposition aux CEM RF dans la plupart des pays de l'Union sont celles publiées par la CIPRNI [Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) 1, 2020]. Si le travail effectué par la CIPRNI est très utile pour l'élaboration des politiques, il convient de noter que le champ d'application de ses lignes directrices se limite aux humains. Celles-ci prennent uniquement en considération les effets biologiques avérés néfastes pour la santé humaine. Elles ne traitent pas de la prévention des effets biologiques indésirables de l'exposition des animaux, des champignons ou des plantes aux CEM RF. Pour prévenir les effets environnementaux de l'exposition aux CEM RF, l'élaboration des politiques et de la législation doit se baser sur les travaux scientifiques qui portent sur l'exposition des animaux vertébrés, des invertébrés, des plantes, des champignons et d'autres organismes aux CEM RF. Dès lors, si les décideurs politiques veulent appliquer des stratégies protectrices à l'égard des organismes non humains, ils devraient appuyer leurs décisions sur d'autres sources de documentation scientifique qui sont axées sur ces organismes. Il ne s'agit pas d'une tâche aisée puisque, comme le montre la présente étude, certains domaines de recherche demeurent trop peu explorés.

Le déséquilibre entre le nombre de publications sur les vertébrés et le nombre d'études sur les autres espèces constitue un premier problème. Dans la gamme de fréquences principalement employées dans le cadre du fonctionnement des réseaux de télécommunication actuels (0,4 à 6 GHz), il existe des centaines d'études de grande qualité évaluées par des pairs qui portent sur les effets de l'exposition des vertébrés et des humains aux CEM RF [voir notamment le nombre de publications citées par Vecchia (2009)]. Le nombre de travaux sur les invertébrés dans la même gamme de fréquences est moins élevé (environ 100 publications, voir section 3.1.2), et la plupart de ces documents se concentrent sur les insectes. Parmi cette catégorie, le nombre de travaux axés sur l'exposition des invertébrés autres que des insectes est très limité (< 10 études évaluées par des pairs). Le nombre de publications sur les plantes et les champignons dans la gamme de fréquences inférieures à 6 GHz (environ 100 études, voir section 3.1.3) est également peu élevé par rapport aux travaux sur les vertébrés. En outre, de nombreuses études sur les invertébrés, les plantes et les champignons souffrent de lacunes expérimentales.

Le nombre relativement faible de publications évaluées par des pairs portant sur l'exposition des organismes non humains aux CEM RF dans la gamme de fréquences comprise entre 6 GHz et 300 GHz (environ 250 études au total) constitue un deuxième élément problématique. Ce constat est à prendre en considération, car les réseaux 5G fonctionneront également à des fréquences comprises entre 6 GHz et 300 GHz. Le nombre de publications est relativement peu élevé par rapport au nombre de travaux sur les fréquences entre 0,4 GHz et 6 GHz. Dans cette gamme de fréquences, il existe des différences entre les animaux vertébrés, les invertébrés, les plantes et les champignons qui sont similaires à celles observées dans la gamme de fréquences inférieure. Il existe un nombre raisonnable d'études sur les animaux vertébrés (< 150 publications). Néanmoins, le nombre de travaux évalués par des pairs sur les invertébrés (< 50 études), les champignons (< 15 études) et les plantes (< 15 études) est très limité.

Afin de remédier à ces lacunes dans les connaissances scientifiques actuelles, une première option stratégique pourrait consister à financer les recherches qui aboutissent à davantage d'études de

haute qualité sur les plantes, les champignons et les invertébrés à des fréquences inférieures à 6 GHz, ainsi que des recherches de grande qualité sur les animaux vertébrés, les plantes, les champignons et les invertébrés à des fréquences comprises entre 6 GHz et 300 GHz. Les résultats de ces études pourraient servir de base à l'élaboration de politiques fondées sur des données probantes en ce qui concerne l'exposition des organismes non humains aux CEM RF.

6.2. Mesure systématique et suivi de l'exposition aux CEM RF environnementaux

Pour apprécier si des mesures de précaution sont à prendre pour protéger un organisme contre une exposition, deux éléments sont nécessaires. Premièrement, les effets négatifs de l'exposition doivent être prouvés ou une incertitude quant à ces effets doit subsister. Deuxièmement, un risque d'exposition (importante) doit exister. Étant donné le nombre relativement faible de travaux publiés sur l'exposition de certaines des catégories analysées dans le présent document (voir section 6.1), il existe une incertitude quant aux effets d'une exposition éventuelle. Toutefois, la question de l'exposition des organismes non humains aux CEM RF subsiste.

Comme souligné dans les sections 1.3 et 1.5 du présent document, presque tous les organismes non humains entrent dans la catégorie des non-utilisateurs en matière de CEM RF. Dès lors, les sources principales d'exposition aux CEM RF sont des sources de champ éloigné et constituent donc une «exposition environnementale». La section 1.5 montre qu'il existe des raisons de croire que cette exposition sera différente une fois les réseaux 5G déployés. Toutefois, étant donné que, pour le moment, pratiquement aucun réseau 5G n'est opérationnel, il est difficile de déterminer quelle sera cette exposition. Dès lors, une deuxième option stratégique pourrait consister à demander ou à exiger des mesures systématiques des CEM RF environnementaux et leur surveillance.

Une attention particulière devrait être accordée aux environnements dans lesquels les organismes non humains sont les plus répandus, car la plupart des études précédentes sur l'exposition aux CEM RF environnementaux appliquent une approche centrée sur l'humain, la grande majorité des mesures étant réalisées dans des environnements où la présence d'organismes non humains est relativement faible (Bhatt et al., 2016; Bolte et Eikelboom, 2012; P. Frei et al., 2009; Sagar et al., 2016; 2018; Thielens, Van den Bossche et al., 2018; Urbinello, Huss et al., 2014; Velghe et al., 2019b). Certaines études environnementales exposées dans la présente étude sont axées sur l'exposition environnementale d'organismes non humains aux CEM RF (Vijver et al., 2014; Lázaro et al., 2016; Mittler, 1977; Pramod et Yogesh, 2014; Balodis et al., 1996; M. Cammaerts et Johansson, 2015; Haggerty, 2010; Magone, 1996; Waldmann-Selsam et al., 2016). Cette série d'études doit être étendue.

Les protocoles de mesure de l'exposition aux CEM RF dans les réseaux 5G sont en cours d'élaboration (Aerts et al., 2019) et peuvent être utilisés pour mesurer l'exposition environnementale aux CEM RF. Cependant, la réalisation de ces mesures requiert un technicien ou un scientifique qualifié et beaucoup de temps. Une autre option consisterait à déployer des réseaux de suivi des CEM RF (Aerts et al., 2018; Vermeeren et al., 2019; Dürrenberger et al., 2014). Il s'agit de réseaux de nœuds capables de mesurer les niveaux de CEM RF, qui sont déployés de manière stratégique sur l'ensemble d'une zone où l'exposition aux CEM RF doit faire l'objet d'un suivi. Ces réseaux de suivi présentent l'avantage de ne devoir être déployés qu'une fois et de fournir des informations temporelles sans requérir le déplacement d'un technicien sur place. Bien entendu, le déploiement de ces nœuds de mesure est associé à un coût.

6.3. Suivi des antennes des stations de base

Une autre option pour la mesure de l'exposition aux CEM RF environnementaux consiste à surveiller la puissance de sortie de la source principale de CEM RF environnementaux: les antennes des stations de base. Les opérateurs de réseaux régulent cette puissance de sortie en fonction de la charge de réseau et des besoins des utilisateurs. Des travaux (Shikhantsov et al., 2020) ont montré qu'à partir des informations exactes sur le précodage utilisé par les antennes des stations de base et la configuration des antennes, il est possible de déterminer l'exposition environnementale causée par ces antennes. Cette démarche peut être utilisée à plus grande échelle, en association avec les méthodes présentées par Beekhuizen et al. (2013; 2014) et Bürgi et al. (2010). Ces informations ne sont toutefois pas accessibles au public et les opérateurs de télécommunications les maintiennent confidentielles.

Dès lors, une troisième option stratégique est à considérer: les décideurs politiques pourraient requérir que ces informations soient rendues publiques, c'est-à-dire demander aux opérateurs de communiquer les informations sur les antennes qu'ils utilisent, les fréquences des opérations, le précodage utilisé au fil du temps, la puissance de sortie au fil du temps et les spécifications relatives à l'installation de l'antenne. Il serait également possible de mettre en place une commission d'experts indépendants capables d'interpréter ces données si des motifs (secrets d'affaires, etc.) justifient la non divulgation de ces informations au public. Ces données pourraient ensuite être utilisées comme source d'information pour les méthodes citées ci-dessus, afin d'évaluer rétroactivement l'exposition aux CEM RF au fil du temps. Ces informations pourraient être utiles en cas de nouvelles découvertes scientifiques et permettraient parallèlement aux opérateurs de poursuivre les mises à jour nécessaires de leurs réseaux.

6.4. Évaluations de la conformité et prévention de l'exposition aux CEM RF élevés à proximité des antennes des stations de base pour tous les organismes vivants

Dans certaines situations, il est évident que le niveau d'exposition aux CEM RF sera élevé: notamment lorsque des animaux divaguants circulent aux environs directs d'une antenne de station de base ou lorsque les transmetteurs sont installés à proximité d'arbres. Dans de tels cas, il est possible de mettre en place des mesures qui garantiront une séparation physique entre les stations de base et les organismes exposés, qui sont similaires à celles actuellement appliquées pour les humains. L'installation de ces antennes est réglementée et une évaluation de conformité sur la base des lignes directrices de la CIPRNI est généralement requise. Ces lignes directrices mettent en relation les restrictions de base sur le taux spécifique d'absorption, soit un indicateur du chauffage thermique lié à une exposition aux CEM RF, et les niveaux de CEM RF incidents, appelés «niveaux de référence». Ces restrictions de base et niveaux de référence sont généralement utilisés pour évaluer la conformité des antennes des stations de base nouvellement installées (Thors et al., 2017; Baracca et al., 2018; Thielens et al., 2013) et imposent une limitation de la puissance de sortie de ces antennes et la mise en place de barrières physiques autour de ces antennes afin d'empêcher le grand public de s'en approcher. Des barrières similaires pourraient être installées afin d'empêcher les animaux en vol de circuler à proximité immédiate des antennes des stations de base. Une distance minimale de séparation avec les plantes existantes peut être déterminée sur la base des mesures et des simulations numériques.

Une quatrième option stratégique pourrait consister à exiger des études de conformité pour d'autres organismes que les humains là où des antennes des stations de base sont installées. Il s'agirait d'études visant à quantifier l'exposition d'un sujet à proximité d'une antenne et à déterminer une puissance de sortie maximale et une distance de séparation minimale de ces

antennes, sur la base d'une exposition éventuelle et de ses effets potentiels. Étant donné que le chauffage diélectrique a fait l'objet de démonstrations dans toutes les catégories analysées dans la présente étude, il y a lieu de protéger tous les organismes de cet effet. Ces études de conformité devraient être réalisées pour tous les organismes susceptibles de se trouver ou de circuler à proximité de ces antennes, et il est nécessaire que la puissance émise par celles-ci soit adaptée en fonction des résultats de ces études. Les chauves-souris, les oiseaux, les insectes et les plantes voisines constituent des exemples caractéristiques de ces organismes.

Les études de conformité actuelles, axées sur l'humain, ne sont pas suffisantes pour prévenir les effets thermiques sur les organismes non humains. Le mécanisme physique du chauffage dû à une exposition aux CEM RF est le même pour toutes les matières biologiques. Néanmoins, les relations entre l'exposition aux CEM RF, les quantités dosimétriques et les hausses de température utilisées dans les lignes directrices de la CIPRNI sont fondées sur les propriétés humaines et sur des expériences réalisées sur des animaux (principalement des vertébrés). Ces relations sont différentes pour d'autres organismes, qui peuvent présenter des caractéristiques considérablement différentes, comme les rapports surface/volume, les propriétés diélectriques, les propriétés thermiques, la thermorégulation et la taille physique.

La principale différence entre la première option stratégique suggérée et la quatrième est que la première est axée sur l'élargissement des connaissances scientifiques sur les effets biologiques de l'exposition aux CEM RF, tandis que celle suggérée dans la présente section préconise des améliorations techniques de la conformité des antennes des stations de base. La démonstration de la prévention du chauffage diélectrique d'autres organismes que les humains est possible avec les méthodes scientifiques actuelles.

Références

- Adair, Eleanor R., et David R. Black. 2003. «Thermoregulatory Responses to RF Energy Absorption». *Bioelectromagnetics* 24 (S6): S17–38. <https://doi.org/10.1002/bem.10133>.
- Aerts, Sam, Leen Verloock, Matthias Van Den Bossche, Davide Colombi, Luc Martens, Christer Tornevik, et Wout Joseph. 2019. «In-Situ Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure at Sub-6 GHz Frequencies». *IEEE Access* 7: 184658–67. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961225>.
- Aerts, Sam, Joe Wiart, Luc Martens, et Wout Joseph. 2018. «Assessment of Long-Term Spatio-Temporal Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure». *Environmental Research* 161 (février): 136–43. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.003>.
- Afsharinejad, Armita, Alan Davy, Paul O'Leary, et Conor Brenann. 2017. «Transmission through Single and Multiple Layers of Plant Leaves at THz Frequencies». In *GLOBECOM 2017 – 2017 IEEE Global Communications Conference*, 1–6. Singapour: IEEE. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8254561>.
- Afzal, Mobin, et Simeen Mansoor. 2012. «Effect of Mobile Phone Radiations on Morphological and Biochemical Parameters of Mung Bean (*Vigna Radiata*) and Wheat (*Triticum Aestivum*) Seedlings», 4.
- Ahmed, Jasim, Hosahalli S. Ramaswamy, et Vijaya G.S. Raghavan. 2007. «Dielectric Properties of Indian Basmati Rice Flour Slurry». *Journal of Food Engineering* 80 (4): 1125–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.004>.
- Ahmed, Manjur, Fareq Malek, R. Badlishah Ahmad, et Mostafijur Rahman. 2011. «Disinfestation of *Rhizopertha Dominica* (F.) Using Microwave Heat Treatment to the Malaysian Paddy». *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6.
- Akbal, Ayhan, Yasar Kiran, Ahmet Sahin, Dilek Turgut-Balik, et Hasan H. Balik. 2012. «Effects of Electromagnetic Waves Emitted by Mobile Phones on Germination, Root Growth, and Root Tip Cell Mitotic Division of *Lens Culinaris Medik*», 9.
- Akdağ, M. Zülküf, M. Salih Celik, Aydin Ketani, Yusuf Nergiz, Mustafa Deniz, et Süleyman Dasağ. 1999. «Effect of Chronic Low-Intensity Microwave Radiation on Sperm Count, Sperm Morphology, and Testicular and Epididymal Tissues of Rats». *Electromagnetic Biology and Medicine* 18 (2): 133–45. <https://doi.org/10.3109/15368379909012907>.
- Akoev, G. N., V. D. Avelev, N. I. Chalisova, et M. I. Lyudino. 1994. «Effect of Millimeter Band Electromagnetic Radiation on a Culture of Sensory Neurons from the Chick Embryo». *Neurophysiology* 25 (3): 149–51. <https://doi.org/10.1007/BF01053141>.
- Akoev, G. N., V. D. Avelev, et P. G. Semenjkov. 1995. «Reception of Low-Intensity Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation by the Electroreceptors in Skates». *Neuroscience* 66 (1): 15–17. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(95\)00054-M](https://doi.org/10.1016/0306-4522(95)00054-M).
- Alekseev, S. I., et M. C. Ziskin. 1999. «Effects of Millimeter Waves on Ionic Currents of *Lymnaea* Neurons». *Bioelectromagnetics*, 10.
- Alekseev, S. I., M. C. Ziskin, N. V. Kochetkova, et M. A. Bolshakov. 1997. «Millimeter Waves Thermally Alter the Firing Rate of the *Lymnaea* Pacemaker Neuron». *Bioelectromagnetics*, 10.
- Alekseev, S. I., O. V. Gordiienko, et M.C. Ziskin. 2008. «Reflection and Penetration Depth of Millimeter Waves in Murine Skin». *Bioelectromagnetics* 29 (5): 340–44. <https://doi.org/10.1002/bem.20401>.
- Alekseev, Stanislav I., Oleg V. Gordiienko, Alexander A. Radzievsky, et Marvin C. Ziskin. 2009. «Millimeter Wave Effects on Electrical Responses of the Sural Nerve in Vivo». *Bioelectromagnetics*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/bem.20547>.
- Alekseev, Stanislav I., et Marvin C. Ziskin. 2011. «Enhanced Absorption of Millimeter Wave Energy in Murine Subcutaneous Blood Vessels». *Bioelectromagnetics* 32 (6): 423–33. <https://doi.org/10.1002/bem.20658>.
- Ali, Idri A., et Ahme M. Al-Jabr. 2003. A Waveguide Irradiation Chamber for Destruction of Red Palm Weevils (*Rhynchophorus Ferrugineus*) Inside a Block Sample of a Palm Tree Trunk». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 38 (2): 137–46. <https://doi.org/10.1080/08327823.2003.11688494>.

- Andreuccetti, D., M. Bini, A. Gambetta, A. Ignesti, R. Olmi, S. Priori, R. Vanni, Via Panciatici, et Via Barazzuoli. 1995. «A MICROWAVE DEVICE FOR WOODWORM DISINFESTATION». *Proc. of the International Conference on Microwave and High Frequency Heating*, 4.
- Andreuccetti, D., M. Bini, A. Ignesti, A. Gambetta, et R. Olani. 1994. «Microwave Destruction of Woodworms». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 29 (3): 153–60. <https://doi.org/10.1080/08327823.1994.11688244>.
- Arber, S. L., et J. C. Lin. 1985. «Extracellular Calcium and Microwave Enhancement of Membrane Conductance in Snail Neurons». *Radiation and Environmental Biophysics* 24 (2): 149–56. <https://doi.org/10.1007/BF01229821>.
- Arber, Simon L., et James C. Lin. 1985. «Microwave-Induced Changes in Nerve Cells: Effects of Modulation and Temperature». *Bioelectromagnetics* 6 (3): 257–70. <https://doi.org/10.1002/bem.2250060306>.
- Atli, Emel, et Hacer Ünlü. 2006. «The Effects of Microwave Frequency Electromagnetic Fields on the Development of *Drosophila Melanogaster*». *International Journal of Radiation Biology* 82 (6): 435–41. <https://doi.org/10.1080/09553000600798849>.
- Baan, Robert, Yann Grosse, Béatrice Lauby-Secretan, Fatiha El Ghissassi, Véronique Bouvard, Lamia Benbrahim-Tallaa, Neela Guha, Farhad Islami, Laurent Galichet, et Kurt Straif. 2011. «Carcinogenicity of Radiofrequency Electromagnetic Fields». *The Lancet Oncology* 12 (7): 624–26. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70147-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70147-4).
- Baker, Vernon H., Dennis E. Wlant, et Oscar Taboada. 1956. «Some Effects of Microwaves on Certain Insects Which Infest Wheat and Flour». *Journal of Economic Entomology* 49 (1): 33–37. <https://doi.org/10.1093/jee/49.1.33>.
- Bakker, J. F., M. M. Paulides, A. Christ, N. Kuster, et G. C. van Rhoon. 2011. «Assessment of Induced SAR in Children Exposed to Electromagnetic Plane Waves between 10 MHz and 5.6 GHz». *Physics in Medicine and Biology* 56 (9): 2883–2883. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/56/9/2883>.
- Balmori, Alfonso. 2009. «Electromagnetic Pollution from Phone Masts. Effects on Wildlife». *Pathophysiology* 16 (2–3): 191–99. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.007>.
- . 2014. «Electrosmog and Species Conservation». *The Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.061>.
- . 2015. «Anthropogenic Radiofrequency Electromagnetic Fields as an Emerging Threat to Wildlife Orientation». *Science of The Total Environment* 518–519 (juin): 58–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.077>.
- Balmori, Alfonso, Junta de Castilla, et Rigoberto Cortejoso. 2006. «The Incidence of Electromagnetic Pollution on the Amphibian Decline: Is This an Important Piece of the Puzzle?» In <https://doi.org/10.1080/02772240600687200>.
- Balodis, V., G. Brmelis, K. Kalvikis, O. Nikodemus, D. Tjarve, et V. Znotia. 1996. «Does the Skrunda Radio Location Station Diminish the Radial Growth of Pine Trees?» *Science of The Total Environment* 180 (1): 57–64. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04920-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04920-7).
- Banik, S., S. Bandyopadhyay, et S. Ganguly. 2003. «Bioeffects of Microwave—a Brief Review». *Bioresource Technology*, 5.
- Baracca, Paolo, Andreas Weber, Thorsten Wild, et Christophe Grangeat. 2018. «A Statistical Approach for RF Exposure Compliance Boundary Assessment in Massive MIMO Systems». *ArXiv:1801.08351 [Cs, Math]*, janvier. <http://arxiv.org/abs/1801.08351>.
- Barsoum, Yousri H., et William F. Pickard. 1982. «The Vacuolar Potential of Characean Cells Subjected to Electromagnetic Radiation in the Range 200–8,200 MHz». *Bioelectromagnetics* 3 (4): 393–400. <https://doi.org/10.1002/bem.2250030402>.
- Bartos, Premysl, Radek Netusil, Pavel Slaby, David Dolezel, Thorsten Ritz, et Martin Vacha. 2019. «Weak Radiofrequency Fields Affect the Insect Circadian Clock». *Journal of The Royal Society Interface* 16 (158): 20190285. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0285>.
- Baysal, T., A. Ural, M. Çakir, et C. N. Özen. 1998. «MICROWAVE APPLICATION FOR THE CONTROL OF DRIED FIG MOTH». *Acta Horticulturae*, n° 480 (décembre): 215–20. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.480.37>.
- Beaubois, Élisabeth, Sébastien Girard, Sébastien Lallechere, Eric Davies, Françoise Paladian, Pierre Bonnet, Gérard Ledoigt, et Alain Vian. 2007. «Intercellular Communication in Plants: Evidence for Two Rapidly Transmitted Systemic Signals Generated in Response to

- Electromagnetic Field Stimulation in Tomato». *Plant, Cell & Environment* 30 (7): 834–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01669.x>.
- Beekhuizen, J., R. Vermeulen, M. van Eijdsen, R. van Strien, A. Bürgi, E. Loomans, M. Guxens, H. Kromhout, et A. Huss. 2014. «Modelling Indoor Electromagnetic Fields (EMF) from Mobile Phone Base Stations for Epidemiological Studies». *Environment International* 67 (juin): 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.02.008>.
- Beekhuizen, J., R. Vermeulen, H. Kromhout, A. Bürgi, et A. Huss. 2013. «Geospatial Modelling of Electromagnetic Fields from Mobile Phone Base Stations». *Science of The Total Environment* 445–446 (février): 202–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.020>.
- Belyaev, I. Ya. 1992. «Some Biophysical Aspects of the Genetic Effect of Low-Intensity Millimeter Waves». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 8.
- Benaissa, S., D. Plets, E. Tanghe, J. Trogh, L. Martens, L. Vandaele, L. Verloock, F. A. M. Tuytens, B. Sonck, et W. Joseph. 2017. «Internet of Animals: Characterisation of LoRa Sub-GHz off-Body Wireless Channel in Dairy Barns». *Electronics Letters* 53 (18): 1281–83. <https://doi.org/10.1049/el.2017.1344>.
- Benaissa, Said, David Plets, Emmeric Tanghe, Gunter Vermeeren, Luc Martens, Bart Sonck, Frank Andre Maurice Tuytens, et al. 2016. «Characterization of the On-Body Path Loss at 2.45 GHz and Energy Efficient WBAN Design for Dairy Cows». *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 64 (11): 4848–58. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2606571>.
- Bertrand, Emmanuel, Christophe Pasquier, David Duchez, Sébastien Girard, Agnès Pons, Pierre Bonnet, Catherine Creuly, et Claude-Gilles Dussap. 2018. «High-Frequency, High-Intensity Electromagnetic Field Effects on *Saccharomyces Cerevisiae* Conversion Yields and Growth Rates in a Reverberant Environment». *Bioresource Technology* 260 (juillet): 264–72. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.130>.
- Betskii, O. V., et N. N. Lebedeva. s.d. «Low-Intensity Millimeter Waves in Biology and Medicine», 32.
- Bhatt, Chhavi Raj, Arno Thielens, Baki Billah, Mary Redmayne, Michael J. Abramson, Malcolm R. Sim, Roel Vermeulen, Luc Martens, Wout Joseph, et Geza Benke. 2016. «Assessment of Personal Exposure from Radiofrequency-Electromagnetic Fields in Australia and Belgium Using on-Body Calibrated Exposimeters». *Environmental Research* 151 (novembre): 547–63. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.022>.
- Bigu-Del-Blanco, J., J. M. Bristow, et C. Romero-Sierra. 1977. «Effects of Low-Level Microwave Radiation on Germination and Growth Rate in Corn Seeds». *Proceedings of the IEEE* 65 (7): 1086–88. <https://doi.org/10.1109/PROC.1977.10636>.
- Birenbaum, L., I. T. Kaplan, W. Metlay, S. W. Rosenthal, H. Schmidt, et M. M. Zaret. 1969. «Effect of Microwaves on the Rabbit Eye». *Journal of Microwave Power* 4 (4): 232–43. <https://doi.org/10.1080/00222739.1969.11688729>.
- . 2016. «Effect of Microwaves on the Rabbit Eye*». *Journal of Microwave Power*, juin. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00222739.1969.11688729?needAccess=true>.
- Birks, Laura Ellen, Benjamin Struchen, Marloes Eeftens, Luuk van Wel, Anke Huss, Peter Gajšek, Leeka Kheifets, et al. 2018. «Spatial and Temporal Variability of Personal Environmental Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields in Children in Europe». *Environment International* 117 (août): 204–14. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.026>.
- Biron, D., C. Vincent, M. Giroux, et A. Maire. 1996. «Lethal Effects of Microwave Exposures on Eggs and Pupae of the Cabbage Maggot and Cabbage Plants». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 31 (4): 228–37. <https://doi.org/10.1080/08327823.1996.11688314>.
- Bolshakov, M. A., et S. I. Alekseev. 1992. «Bursting Responses of *Lymnea* Neurons to Microwave Radiation». *Bioelectromagnetics* 13 (2): 119–29. <https://doi.org/10.1002/bem.2250130206>.
- Bolte, John F. B. 2016. «Lessons Learnt on Biases and Uncertainties in Personal Exposure Measurement Surveys of Radiofrequency Electromagnetic Fields with Exposimeters». *Environment International* 94 (septembre): 724–35. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.023>.
- Bolte, John F. B., et Tessa Eikelboom. 2012. «Personal Radiofrequency Electromagnetic Field Measurements in the Netherlands: Exposure Level and Variability for Everyday Activities, Times of Day and Types of Area». *Environment International* 48 (novembre): 133–42. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.006>.

- Borchers, Raymond, Lata D. Manage, S. O. Nelson, et L. E. Stetson. 1972. «RAPID IMPROVEMENT IN NUTRITIONAL QUALITY OF SOYBEANS BY DIELECTRIC HEATING». *Journal of Food Science* 37 (2): 333–34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb05849.x>.
- Born, Norman, David Behringer, Sascha Liepelt, Sarah Beyer, Michael Schwerdtfeger, Birgit Ziegenhagen, et Martin Koch. 2014. «Monitoring Plant Drought Stress Response Using Terahertz Time-Domain Spectroscopy». *Plant Physiology* 164 (4): 1571–77. <https://doi.org/10.1104/pp.113.233601>.
- Breitenstein, Björn, Maik Scheller, Mohammad Khaled Shakfa, Thomas Kinder, Thomas Müller-Wirts, Martin Koch, et Dirk Selmar. 2011. «Introducing Terahertz Technology into Plant Biology: A Novel Method to Monitor Changes in Leaf Water Status», janvier, 4.
- Bruderer, B, D. Peter, et T. Steuri. 1999. «Effect of Radar and Light on Birds». *The Journal of Experimental Biology*, 8.
- Brusick, David, Richard Albertini, Donald McRee, Donald Peterson, Gary Williams, Phillip Hanawalt, et Julian Preston. 1998. «Genotoxicity of radiofrequency radiation». *Environmental and Molecular Mutagenesis* 32 (1): 1–16. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(1998\)32:1<1::AID-EM1>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(1998)32:1<1::AID-EM1>3.0.CO;2-Q).
- Bürgi, Alfred, Patrizia Frei, Gaston Theis, Evelyn Mohler, Charlotte Braun-Fahrländer, Jürg Fröhlich, Georg Neubauer, Matthias Egger, et Martin Rössli. 2010. «A Model for Radiofrequency Electromagnetic Field Predictions at Outdoor and Indoor Locations in the Context of Epidemiological Research». *Bioelectromagnetics* 31 (3): 226–36. <https://doi.org/10.1002/bem.20552>.
- Burk, L. G., et S. O. Nelson. 1964. «Effects of Radiofrequency Electric Fields on Seeds of *Nicotiana Tabacum* L.¹». *Crop Science* 4 (1): 100–103. <https://doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183X000400010032x>.
- Burrell, J., T. Brooke, et R. Beckwith. 2004. «Sensor and Actuator Networks - Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production». *IEEE Pervasive Computing* 3 (1): 38–45. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2004.1269130>.
- Calvet, J.-C., J.-P. Wigneron, E. Mougin, Y. H. Kerr, et J. L. S. Brito. 1994. «Plant Water Content and Temperature of the Amazon Forest from Satellite Microwave Radiometry». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32 (2): 397–408. <https://doi.org/10.1109/36.295054>.
- Cammaerts, Marie-Claire, Philippe De Doncker, Xavier Patris, François Bellens, Zoheir Rachidi, et David Cammaerts. 2012. «GSM 900 MHz Radiation Inhibits Ants' Association between Food Sites and Encountered Cues». *Electromagnetic Biology and Medicine* 31 (2): 151–65. <https://doi.org/10.3109/15368378.2011.624661>.
- Cammaerts, Marie-Claire, et Olle Johansson. 2014. «Ants Can Be Used as Bio-Indicators to Reveal Biological Effects of Electromagnetic Waves from Some Wireless Apparatus». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33 (4): 282–88. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.817336>.
- Cammaerts, Marie-Claire, Zoheir Rachidi, François Bellens, et Philippe De Doncker. 2013. «Food Collection and Response to Pheromones in an Ant Species Exposed to Electromagnetic Radiation». *Electromagnetic Biology and Medicine* 32 (3): 315–32. <https://doi.org/10.3109/15368378.2012.712877>.
- Cammaerts, Marie-Claire, Guy A. E. Vandenbosch, et Vladimir Volski. 2014. «Effect of Short-Term GSM Radiation at Representative Levels in Society on a Biological Model: The Ant *Myrmica Sabuleti*». *Journal of Insect Behavior* 27 (4): 514–26. <https://doi.org/10.1007/s10905-014-9446-4>.
- Cammaerts, M. C., et O. Johansson. 2015. «Effect of Man-Made Electromagnetic Fields on Common Brassicaceae *Lepidium Sativum* (Cress d'Alinois) Seed Germination: A Preliminary Replication Study», 6.
- Carpenter, Robert L., et Elliot M. Livstone. 1971. «Evidence For Nonthermal Effects of Microwave Radiation: Abnormal Development of Irradiated Insect Pupae». *IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1968.1127480>.
- Carpenter, Russell L., et Clair A. Van Ummersen. 1968. «The Action of Microwave Radiation on the Eye[†]». *Journal of Microwave Power* 3 (1): 3–19. <https://doi.org/10.1080/00222739.1968.11688664>.
- Castro-Camus, E., M. Palomar, et A. A. Covarrubias. 2013. «Leaf Water Dynamics of *Arabidopsis Thaliana* Monitored In-Vivo Using Terahertz Time-Domain Spectroscopy». *Scientific Reports* 3 (1): 2910. <https://doi.org/10.1038/srep02910>.

- Chalfin, Steven, John A. D'Andrea, Paul D. Comeau, Michael E. Belt, et Donald J. Hatcher. 2002. «MILLIMETER WAVE ABSORPTION IN THE NONHUMAN PRIMATE EYE AT 35 GHz AND 94 GHz». *Health Physics* 83 (1): 83–90. <https://doi.org/10.1097/00004032-200207000-00009>.
- Chandel, Shikha, Shalinder Kaur, Mohd Issa, Harminder Pal Singh, Daizy Rani Batish, et Ravinder Kumar Kohli. 2019a. «Exposure to Mobile Phone Radiations at 2350 MHz Incites Cytotoxic and Genotoxic Effects in Root Meristems of *Allium Cepa*». *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 17 (1): 97–104. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-00330-1>.
- . 2019b. «Appraisal of Immediate and Late Effects of Mobile Phone Radiations at 2100 MHz on Mitotic Activity and DNA Integrity in Root Meristems of *Allium Cepa*». *Protoplasma* 256 (5): 1399–1407. <https://doi.org/10.1007/s00709-019-01386-y>.
- Chapman, Jason W., V. Alistair Drake, et Don R. Reynolds. 2011. «Recent Insights from Radar Studies of Insect Flight». *Annual Review of Entomology* 56 (1): 337–56. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144820>.
- Chavdoula, Evangelia D., Dimitris J. Panagopoulos, et Lukas H. Margaritis. 2010. «Comparison of Biological Effects between Continuous and Intermittent Exposure to GSM-900-MHz Mobile Phone Radiation: Detection of Apoptotic Cell-Death Features». *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 700 (1–2): 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2010.05.008>.
- Chen, Chiachung. 2014. «Effects of Mobile Phone Radiation on Germination and Early Growth of Different Bean Species». *Polish Journal of Environmental Studies* 23. <https://doi.org/10.15244/pjoes/24254>.
- Chen, Yi-Ping. 2006. «Microwave Treatment of Eight Seconds Protects Cells of *Isatis Indigotica* from Enhanced UV-B Radiation Lesions». *Photochemistry and Photobiology* 82 (2): 503. <https://doi.org/10.1562/2005-06-29-RA-595>.
- Chen, Yi-Ping, Jing-Fen Jia, et Xiao-Ling Han. 2009. «Weak Microwave Can Alleviate Water Deficit Induced by Osmotic Stress in Wheat Seedlings». *Planta* 229 (2): 291–98. <https://doi.org/10.1007/s00425-008-0828-8>.
- Chen, Yi-Ping, Jing-Fen Jia, et Ying-Juan Wang. 2009. «Weak Microwave Can Enhance Tolerance of Wheat Seedlings to Salt Stress». *Journal of Plant Growth Regulation* 28 (4): 381–85. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9106-7>.
- Colpitts, B., Y. Pelletier, et S. Cogswell. 1992. «Complex Permittivity Measurements of the Colorado Potato Beetle Using Coaxial Probe Techniques». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 27 (3): 175–82. <https://doi.org/10.1080/08327823.1992.11688187>.
- Colpitts, B., Y. Pelletier, et D. Sleep. 1993. «Lethal Energy Densities of the Colorado Potato Beetle and Potato Plant at 2450 MHz». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 28 (3): 132–39. <https://doi.org/10.1080/08327823.1993.11688215>.
- Cotgreave, Ian A. 2005. «Biological Stress Responses to Radio Frequency Electromagnetic Radiation: Are Mobile Phones Really so (Heat) Shocking?». *Archives of Biochemistry and Biophysics* 435 (1): 227–40. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2004.12.004>.
- Creanga, Dorina, F. M. Tufescu, Maria Cernea, et JJ Bara. 1995. «SOME QUANTITATIVE ASPECTS CONCERNING THE LOW INTENSITY MICROVOLTAGE INFLUENCE ON THE SECALE CEREALE L. INDIVIDUALS». *ROMANIAN J. BIOPHYS* 5 (2–3): 153–59.
- Cucurachi, Stefano, W. L. M. Tamis, M. G. Vijver, W. J. G. M. Peijnenburg, J. F. B. Bolte, et G. R. de Snoo. 2013. «A Review of the Ecological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields (RF-EMF)». *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.009>.
- Czerwiński, Marek, Łukasz Januszkiewicz, Alain Vian, et Amparo Lázaro. 2020. «The Influence of Bioactive Mobile Telephony Radiation at the Level of a Plant Community – Possible Mechanisms and Indicators of the Effects». *Ecological Indicators* 108 (janvier): 105683. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105683>.
- Daniel Kissling, W., David E. Pattemore, et Melanie Hagen. 2014. «Challenges and Prospects in the Telemetry of Insects: Insect Telemetry». *Biological Reviews* 89 (3): 511–30. <https://doi.org/10.1111/brv.12065>.
- Daniells, Clare, Ian Duce, David Thomas, Philip Sewell, John Tattersall, et David de Pomerai. 1998. «Transgenic Nematodes as Biomonitors of Microwave-Induced Stress». *Mutation*

- Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 399 (1): 55–64. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(97\)00266-2](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(97)00266-2).
- Dardalhon, M., D. Averbeck, et A. J. Berteaud. 1981. «Studies on Possible Genetic Effects of Microwaves in Procaryotic and Eucaryotic Cells». *Radiation and Environmental Biophysics* 20 (1): 37–51. <https://doi.org/10.1007/BF01323925>.
- Dardalhon, M., D. Averbeck, et A. J. Berteaud. 1979. «Determination of a Thermal Equivalent of Millimeter Microwaves in Living Cells». *Journal of Microwave Power* 14 (4): 307–12. <https://doi.org/10.1080/16070658.1979.11689165>.
- Dardalhon, M., A. J. Berteaud, et D. Averbeck. 1979. «Microwave Effects in *Drosophila Melanogaster*». *Radioprotection* 14 (3): 145–59. <https://doi.org/10.1051/radiopro/19791403145>.
- Dardanoni, L., M. V. Torregrossa, et L. Zanforlin. 1985. «Millimeter-Wave Effects on *Candida Albicans* Cells». *Journal of Bioelectricity* 4 (1): 171–76. <https://doi.org/10.3109/15368378509040371>.
- Das, Ipsita, Girish Kumar, et Narendra G. Shah. 2013a. «Microwave Heating as an Alternative Quarantine Method for Disinfestation of Stored Food Grains». *International Journal of Food Science* 2013: 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/926468>.
- . 2013b. «Microwave Heating as an Alternative Quarantine Method for Disinfestation of Stored Food Grains». *International Journal of Food Science* 2013: 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/926468>.
- Daskalakis, Spyridon Nektarios, George Goussetis, Stylianos D. Assimonis, Manos M. Tentzeris, et Apostolos Georgiadis. 2018. «A UW Backscatter-Morse-Leaf Sensor for Low-Power Agricultural Wireless Sensor Networks». *IEEE Sensors Journal* 18 (19): 7889–98. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2861431>.
- Daskalakis, Spyridon-Nektarios, Stylianos D. Assimonis, Eleftherios Kampianakis, et Aggelos Bletsas. 2016. «Soil Moisture Scatter Radio Networking With Low Power». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 64 (7): 2338–46. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2016.2572677>.
- Dawe, Adam S., Rakesh K. Bodhicharla, Neil S. Graham, Sean T. May, Tom Reader, Benjamin Loader, Andrew Gregory, Mays Swicord, Giorgi Bit-Babik, et David I. de Pomerai. 2009. «Low-Intensity Microwave Irradiation Does Not Substantially Alter Gene Expression in Late Larval and Adult *Caenorhabditis Elegans*». *Bioelectromagnetics* 30 (8): 602–12. <https://doi.org/10.1002/bem.20515>.
- Debouzy, J.-C., D. Crouzier, V. Dabouis, R. Malabiau, C. Bachelet, et A. Perrin. 2007. «Effets biologiques des rayonnements millimétriques (94 GHz). Quelles conséquences à long terme?» *Pathologie Biologie* 55 (5): 246–55. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2006.02.006>.
- Deepinder, Fnu, Kartikeya Makker, et Ashok Agarwal. 2007. «Cell Phones and Male Infertility: Dissecting the Relationship». *Reproductive BioMedicine Online* 15 (3): 266–70. [https://doi.org/10.1016/S1472-6483\(10\)60338-0](https://doi.org/10.1016/S1472-6483(10)60338-0).
- Deichmann, William B., Frank H. J. Stephens, M. Keplinger, et Kenneth F. Lampe. 1959. «Acute Effects of Microwave Radiation on Experimental Animals (24,000 Megacycles)». *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 1 (7): 369–81.
- Del Blanco, J. Bigu, C. Romero-Sierra, et J. A. Tanner. 1973. «Radiofrequency Fields: A New Ecological Factor». In *1973 IEEE International Electromagnetic Compatibility Symposium Record*, 1–6. New York City, New York, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEMC.1973.7569832>.
- Detlavs, Imants, L. Dombrovskā, A. Turauska, B. Shkirmante, et L. Slutskii. 1996. «Experimental Study of the Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields on Animals with Soft Tissue Wounds». *Science of The Total Environment* 180 (1): 35–42. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04917-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04917-7).
- Detlavs, Imants, Laimdota Dombrovskā, Ilgonis Klavinsh, Arta Turauska, Bella Shkirmante, et Leonid Slutskii. 1994. «Experimental Study of the Effect of Electromagnetic Fields' in the Early Stage of Wound Healing». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 35 (1–2): 13–17. [https://doi.org/10.1016/0302-4598\(94\)87004-7](https://doi.org/10.1016/0302-4598(94)87004-7).
- Dimitris J., Panagopoulos, et Karabarbounis Andreas. 2020. «Comments on 'Diverse Radiofrequency Sensitivity and Radiofrequency Effects of Mobile or Cordless Phone near Fields Exposure in *Drosophila Melanogaster*». *Advances in Environmental Studies* 4 (1). <https://doi.org/10.36959/742/223>.
- Diprose, M. F., F. A. Benson, et A. J. Willis. 1984. «The Effect of Externally Applied Electrostatic Fields, Microwave Radiation and Electric Currents on Plants and Other Organisms, with Special

- Reference to Weed Control». *The Botanical Review* 50 (2): 171–223. <https://doi.org/10.1007/BF02861092>.
- Dlodlo, Nomusa, et Josephat Kalezhi. 2015. «The Internet of Things in Agriculture for Sustainable Rural Development». In *2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)*, 13–18. Windhoek, Namibie: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETNCC.2015.7184801>.
- Dürrenberger, Gregor, Jürg Fröhlich, Martin Rössli, et Mats-Olof Mattsson. 2014. «EMF Monitoring— Concepts, Activities, Gaps and Options». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11 (9): 9460–79. <https://doi.org/10.3390/ijerph110909460>.
- ECC. 2019. «THE EUROPEAN TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS AND APPLICATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 8.3 KHz to 3000 GHz (ECA TABLE)».
- Edwards-Murphy, Fiona, Michele Magno, Pádraig M. Whelan, John O'Halloran, et Emanuel M. Popovici. 2016. «B+WSN: Smart Beehive with Preliminary Decision Tree Analysis for Agriculture and Honey Bee Health Monitoring». *Computers and Electronics in Agriculture* 124 (juin): 211–19. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.008>.
- Elder, J.A. 2003. «Ocular Effects of Radiofrequency Energy». *Bioelectromagnetics* 24 (S6): S148–61. <https://doi.org/10.1002/bem.10117>.
- Ellingsrud, S., et A. Johnsson. 1993. «Perturbations of Plant Leaflet Rhythms Caused by Electromagnetic Radio-Frequency Radiation». *Bioelectromagnetics* 14 (3): 257–71. <https://doi.org/10.1002/bem.2250140309>.
- Engelmann, Julia. 2008. «Is Gene Activity in Plant Cells Affected by UMTS-Irradiation? A Whole Genome Approach». *Advances and Applications in Bioinformatics and Chemistry*, octobre, 71. <https://doi.org/10.2147/AABC.S3570>.
- Engels, Svenja, Nils-Lasse Schneider, Nele Lefeldt, Christine Maira Hein, Manuela Zapka, Andreas Michalik, Dana Elbers, Achim Kittel, P. J. Hore, et Henrik Mouritsen. 2014. «Anthropogenic Electromagnetic Noise Disrupts Magnetic Compass Orientation in a Migratory Bird». *Nature* 509 (7500): 353–56. <https://doi.org/10.1038/nature13290>.
- Estal, P. Del, E. Viñuela, E. Page, et C. Camacho. 1986. «Lethal Effects of Microwaves on *Ceratitis Capitata* Wied. (Dipt., Trypetidae)». *Journal of Applied Entomology* 102 (1–5): 245–53. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1986.tb00918.x>.
- Favre, Daniel. 2011. «Mobile Phone-Induced Honeybee Worker Piping». *Apidologie* 42 (3): 270–79. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0016-x>.
- Federici, John F. 2012. «Review of Moisture and Liquid Detection and Mapping Using Terahertz Imaging». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 33 (2): 97–126. <https://doi.org/10.1007/s10762-011-9865-7>.
- Ferrazzoli, P., et L. Guerriero. 1996. «Passive Microwave Remote Sensing of Forests: A Model Investigation». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 34 (2): 433–43. <https://doi.org/10.1109/36.485121>.
- Fesenko, E. E., V. R. Makar, E. G. Novoselova, et V. B. Sadovnikov. 1999. «Microwaves and Cellular Immunity I. Effect of Whole Body Microwave Irradiation on Tumor Necrosis Factor Production in Mouse Cells». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 7.
- Foster, Kenneth R., John A. D'Andrea, Steven Chalfin, et Donald J. Hatcher. 2003. «THERMAL MODELING OF MILLIMETER WAVE DAMAGE TO THE PRIMATE CORNEA AT 35 GHz AND 94 GHz:» *Health Physics* 84 (6): 764–69. <https://doi.org/10.1097/00004032-200306000-00009>.
- Foster, Kenneth R., et Joseph J. Morrissey. 2011. «Thermal Aspects of Exposure to Radiofrequency Energy: Report of a Workshop». *International Journal of Hyperthermia* 27 (4): 307–19. <https://doi.org/10.3109/02656736.2010.545965>.
- Frei, M. R., J. R. Jauchem, et F. Heinmets. 1989. «Thermoregulatory Responses of Rats Exposed to 9.3-GHz Radiofrequency Radiation». *Radiation and Environmental Biophysics* 28 (1): 67–77. <https://doi.org/10.1007/BF01209724>.
- Frei, Melvin R., Kathy L. Ryan, Rick E. Berger, et James R. Jauchem. 1995. «SUSTAINED 35-GHz RADIOFREQUENCY IRRADIATION INDUCES CIRCULATORY FAILURE». *Shock* 4 (4): 289–93.
- Frei, Patrizia, Evelyn Mohler, Georg Neubauer, Gaston Theis, Alfred Bürgi, Jürg Fröhlich, Charlotte Braun-Fahrlander, John Bolte, Matthias Egger, et Martin Rössli. 2009. «Temporal and Spatial Variability

- of Personal Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields». *Environmental Research* 109 (6): 779–85. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.04.015>.
- Friedman, Joseph, Sarah Kraus, Yirmi Hauptman, Yoni Schiff, et Rony Seger. 2007. «Mechanism of Short-Term ERK Activation by Electromagnetic Fields at Mobile Phone Frequencies». *Biochemical Journal* 405 (3): 559–68. <https://doi.org/10.1042/BJ20061653>.
- Frings, HUBERT. 1952. «Factors Determining the Effects of Radio-Frequency Electromagnetic Fields on Insects and Materials They Infest». *Journal of Economic Entomology*, 13.
- Fujiwara, O., et Y. Amemiya. 1982. «Microwave Power Absorption in a Biological Specimen Inside a Standing-Wave Irradiation Waveguide». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 30 (11): 2008–12. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1982.1131360>.
- Furia, Luciano, Douglas W. Hill, et Om P. Gandhi. 1986. «Effect of Millimeter-Wave Irradiation on Growth of *Saccharomyces Cerevisiae*». *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* BME-33 (11): 993–99. <https://doi.org/10.1109/TBME.1986.325865>.
- Gabriel, C, S. Gabriel, et E. Corthout. 1996. «The Dielectric Properties of Biological Tissues: I. Literature Survey». *Physics in Medicine and Biology* 41 (11): 2231–49. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/41/11/001>.
- Gabriel, S, R. W. Lau, et C. Gabriel. 1996a. «The Dielectric Properties of Biological Tissues: II. Measurements in the Frequency Range 10 Hz to 20 GHz». *Physics in Medicine and Biology* 41 (11): 2251–69. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/41/11/002>.
- . 1996b. «The Dielectric Properties of Biological Tissues: III. Parametric Models for the Dielectric Spectrum of Tissues». *Physics in Medicine and Biology* 41 (11): 2271–93. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/41/11/003>.
- Gandhi, O. P. 1983. «Some Basic Properties of Biological Tissues for Potential Biomedical Applications of Millimeter Waves». *Journal of Microwave Power* 18 (3): 295–304. <https://doi.org/10.1080/16070658.1983.11689334>.
- Gao, M., J. Tang, Y. Wang, J. Powers, et S. Wang. 2010. «Almond Quality as Influenced by Radio Frequency Heat Treatments for Disinfestation». *Postharvest Biology and Technology* 58 (3): 225–31. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.06.005>.
- Gapeyev, A. B., et N. K. Chemeris. 1999. «Model Analysis of Nonlinear Modification of Neutrophil Calcium Homeostasis under the Influence of Modulated Electromagnetic Radiation of Extremely High Frequencies». *Journal of Biological Physics*, 18.
- Gapeyev, A. B., E. N. Mikhailik, et N. K. Chemeris. 2008. «Anti-Inflammatory Effects of Low-Intensity Extremely High-Frequency Electromagnetic Radiation: Frequency and Power Dependence». *Bioelectromagnetics* 29 (3): 197–206. <https://doi.org/10.1002/bem.20381>.
- Gapeyev, A. B., V. G. Safronova, N. K. Chemeris, et E. E. Fesenko. 1997. «Inhibition of the Production of Reactive Oxygen Species in Mouse Peritoneal Neutrophils by Millimeter Wave Radiation in the near and Far Field Zones of the Radiator». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 43 (2): 217–20. [https://doi.org/10.1016/S0302-4598\(96\)05155-0](https://doi.org/10.1016/S0302-4598(96)05155-0).
- Gapeyev, A. B., V. S. Yakushina, N. K. Chemeris, et E. E. Fesenko. 1998. «Modification of Production of Reactive Oxygen Species in Mouse Peritoneal Neutrophils on Exposure to Low-Intensity Modulated Millimeter Wave Radiation». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 46 (2): 267–72. [https://doi.org/10.1016/S0302-4598\(98\)00153-6](https://doi.org/10.1016/S0302-4598(98)00153-6).
- Gapeyev, Andrew B., Tatiana P. Kulagina, Alexander V. Aripovsky, et Nikolay K. Chemeris. 2011. «The Role of Fatty Acids in Anti-Inflammatory Effects of Low-Intensity Extremely High-Frequency Electromagnetic Radiation». *Bioelectromagnetics* 32 (5): 388–95. <https://doi.org/10.1002/bem.20645>.
- Gapeyev, Andrew B., Elena N. Mikhailik, et Nikolay K. Chemeris. 2009. «Features of Anti-Inflammatory Effects of Modulated Extremely High-Frequency Electromagnetic Radiation». *Bioelectromagnetics* 30 (6): 454–61. <https://doi.org/10.1002/bem.20499>.
- Garaj-Vrhovac, Vera, Durda Horvat, et Zlatko Koren. 1990. «The Effect of Microwave Radiation on the Cell Genome». *Mutation Research Letters* 243 (2): 87–93. [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(90\)90028-l](https://doi.org/10.1016/0165-7992(90)90028-l).

- . 1991. «The Relationship between Colony-Forming Ability, Chromosome Aberrations and Incidence of Micronuclei in V79 Chinese Hamster Cells Exposed to Microwave Radiation». *Mutation Research Letters* 263 (3): 143–49. [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(91\)90054-8](https://doi.org/10.1016/0165-7992(91)90054-8).
- Gary, Norman E., et Becky Brown Westerdahl. 1981. «Flight, Orientation, and Homing Abilities of Honeybees Following Exposure to 2.45-GHz CW Microwaves». *Bioelectromagnetics* 2 (1): 71–75. <https://doi.org/10.1002/bem.2250020108>.
- Geletyuk, Vitaliy I., Vladimir N. Kazachenko, Nicolay K. Chemeris, et Evgeniy E. Fesenko. 1995. «Dual Effects of Microwaves on Single Ca²⁺-Activated K⁺ Channels in Cultured Kidney Cells *Verò*». *FEBS Letters* 359 (1): 85–88. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(95\)00002-Q](https://doi.org/10.1016/0014-5793(95)00002-Q).
- Gente, R., N. Born, N. Voß, W. Sannemann, J. Léon, M. Koch, et E. Castro-Camus. 2013. «Determination of Leaf Water Content from Terahertz Time-Domain Spectroscopic Data». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 34 (3–4): 316–23. <https://doi.org/10.1007/s10762-013-9972-8>.
- Gente, Ralf, et Martin Koch. 2015. «Monitoring Leaf Water Content with THz and Sub-THz Waves». *Plant Methods* 11 (1): 15. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0057-7>.
- Geronikolou, Styliani, Stelios Zimeras, Constantinos H. Davos, Ioannis Michalopoulos, et Stephanos Tsitomenas. 2014. «Diverse Radiofrequency Sensitivity and Radiofrequency Effects of Mobile or Cordless Phone near Fields Exposure in *Drosophila Melanogaster*». édité par Bertrand Mollereau. *PLoS ONE* 9 (11): e112139. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112139>.
- . 2019. «Correction: Diverse Radiofrequency Sensitivity and Radiofrequency Effects of Mobile or Cordless Phone near Fields Exposure in *Drosophila Melanogaster*». *PLOS ONE* 14 (11): e0225304. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225304>.
- Glover, Kenneth M., Kenneth R. Hardy, Thomas G. Koirad, et W. N. Sullivan. 1966. «Radar Observations of Insects in Free Flight». *Science* 154: 6.
- Godfrey, J. D. 2003. «Effects of Radio Transmitters: Review of Recent Radiotracking Studies», 13.
- Goodman, Eugene M., Ben Greenebaum, et Michael T. Marron. 1995. «Effects of Electromagnetic Fields on Molecules and Cells». In *International Review of Cytology*, 158:279–338. Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0074769608624894>.
- Gordon, Z. V., Ye. A. Lobanova, I. A. Kitsovskaya, et M. S. Tolgskaya. 1963. «Biological Effect of Microwaves of Low Intensity». *Medical Electronics & Biological Engineering* 1 (1): 67–69. <https://doi.org/10.1007/BF02474134>.
- Gos, Pascal, et Bernhard Eicher. 1997. «Extremely High Frequency Electromagnetic Fields at Low Power Density Do Not Affect the Division of Exponential Phase *Saccharomyces Cerevisiae* Cells», janvier, 14.
- Granger, Jesse, Lucianne Walkowicz, Robert Fitak, et Sönke Johnsen. 2020. «Gray Whales Strand More Often on Days with Increased Levels of Atmospheric Radio-Frequency Noise». *Current Biology* 30 (4): R155–56. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.028>.
- Green, Donald R., Fred J. Rosenbaum, et William F. Pickard. 1979. «Intensity of Microwave Irradiation and the Teratogenic Response of *Tenebrio Molitor*». *Radio Science* 14 (6S): 165–71. <https://doi.org/10.1029/RS014i06Sp00165>.
- Grémiaux, Alexandre, Sébastien Girard, Vincent Guérin, Jérémy Lothier, František Baluška, Eric Davies, Pierre Bonnet, et Alain Vian. 2016. «Low-Amplitude, High-Frequency Electromagnetic Field Exposure Causes Delayed and Reduced Growth in *Rosa Hybrid*». *Journal of Plant Physiology* 190 (janvier): 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.11.004>.
- Grundler, W., et F. Keilmann. 1978. «Nonthermal Effects of Millimeter Microwaves on Yeast Growth». *Zeitschrift Für Naturforschung C* 33 (1–2): 15–22. <https://doi.org/10.1515/znc-1978-1-205>.
- . 1983. «Sharp Resonances in Yeast Growth Prove Nonthermal Sensitivity to Microwaves». *Physical Review Letters* 51 (13): 1214–16. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.51.1214>.
- . 1989. «Resonant Microwave Effect on Locally Fixed Yeast Microcolonies». *Zeitschrift Für Naturforschung C* 44 (9–10): 863–66. <https://doi.org/10.1515/znc-1989-9-1028>.
- Grundler, W., F. Keilmann, et H. Fröhlich. 1977. «Resonant Growth Rate Response of Yeast Cells Irradiated by Weak Microwaves». *Physics Letters A* 62 (6): 463–66. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(77\)90696-X](https://doi.org/10.1016/0375-9601(77)90696-X).
- Grundler, W., F. Keilmann, V. Putterlik, et D. Strube. 1982. «RESONANT-LIKE DEPENDENCE OF YEAST GROWTH RATE ON MICROWAVE FREQUENCIES», janvier, 3.

- Grundler, Werner, Fritz Keilmann, Vera Putterlik, Lannianti Santo, Dietrich Strube, et Ingrid Zimmermann. 1983. «Nonthermal Resonant Effects of 42 GHz Microwaves on the Growth of Yeast Cultures». In *Coherent Excitations in Biological Systems*, édité par Herbert Fröhlich et Friedrich Kremer, 21–37. Proceedings in Life Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69186-7_4.
- Guo, Wenchuan, Xiaoling Wu, Xinhua Zhu, et Shaojin Wang. 2011. «Temperature-Dependent Dielectric Properties of Chestnut and Chestnut Weevil from 10 to 4500 MHz». *Biosystems Engineering* 110 (3): 340–47. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.09.007>.
- Gustavino, Bianca, Giovanni Carboni, Roberto Petrillo, Giovanni Paoluzzi, Emanuele Santovetti, et Marco Rizzoni. 2016. «Exposure to 915 MHz Radiation Induces Micronuclei in *Vicia Faba* Root Tips». *Mutagenesis* 31 (2): 187–92. <https://doi.org/10.1093/mutage/gev071>.
- Haas, Alexis J., Yann Le Page, Maxim Zhadobov, Artem Boriskin, Ronan Sauleau, et Yves Le Dréan. 2016. «Impact of 60-GHz Millimeter Waves on Stress and Pain-Related Protein Expression in Differentiating Neuron-like Cells: TRPV Expression Under MMW Exposure». *Bioelectromagnetics* 37 (7): 444–54. <https://doi.org/10.1002/bem.21995>.
- Haas, Alexis J., Yann Le Page, Maxim Zhadobov, Ronan Sauleau, Yves Le Dréan, et Christian Saligaut. 2017. «Effect of Acute Millimeter Wave Exposure on Dopamine Metabolism of NGF-Treated PC12 Cells». *Journal of Radiation Research* 58 (4): 439–45. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrx004>.
- Haas, Alexis J., Yann Le Page, Maxim Zhadobov, Ronan Sauleau, et Yves Le Dréan. 2016. «Effects of 60-GHz Millimeter Waves on Neurite Outgrowth in PC12 Cells Using High-Content Screening». *Neuroscience Letters* 618 (avril): 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.02.038>.
- Habash, Riadh W. Y., J. Mark Elwood, Daniel Krewski, W. Gregory Lotz, James P. McNamee, et Frank S. Prato. 2009. «Recent Advances in Research on Radiofrequency Fields and Health: 2004–2007». *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 12 (4): 250–88. <https://doi.org/10.1080/10937400903094125>.
- Hadjiloucas, S., L. S. Karatzas, et J. W. Bowen. 1999. «Measurements of Leaf Water Content Using Terahertz Radiation». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 47 (2): 142–49. <https://doi.org/10.1109/22.744288>.
- Hadjinicolaou, John. 1931. «Effect of Certain Radio Waves on Insects Affecting Certain Stored Products». *Journal of the New York Entomological Society* 39 (2): 145–50.
- Haggerty, Katie. 2010. «Adverse Influence of Radio Frequency Background on Trembling Aspen Seedlings: Preliminary Observations». *International Journal of Forestry Research* 2010: 1–7. <https://doi.org/10.1155/2010/836278>.
- Haider, Thomas, Siegfried Knasmueller, Michael Kundi, et Manfred Haider. 1994. «Clastogenic Effects of Radiofrequency Radiations on Chromosomes of *Tradescantia*». *Mutation Research Letters* 324 (1–2): 65–68. [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0165-7992(94)90069-8).
- Halabi, Nashaat El, Roger Achkar, et Gaby Abou Haidar. 2013. «The Effect of Cell Phone Radiations on the Life Cycle of Honeybees». In *Eurocon 2013*, 529–36. Zagreb, Croatia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2013.6625032>.
- Halgamuge, Malka N. 2017. «Review: Weak Radiofrequency Radiation Exposure from Mobile Phone Radiation on Plants». *Electromagnetic Biology and Medicine* 36 (2): 213–35. <https://doi.org/10.1080/15368378.2016.1220389>.
- Halgamuge, Malka N., et Devra Davis. 2019. «Lessons Learned from the Application of Machine Learning to Studies on Plant Response to Radio-Frequency». *Environmental Research* 178 (novembre): 108634. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108634>.
- Halgamuge, Malka N., See Kye Yak, et Jacob L. Eberhardt. 2015. «Reduced Growth of Soybean Seedlings after Exposure to Weak Microwave Radiation from GSM 900 Mobile Phone and Base Station: Weak Microwave Radiation Affects Soybean Growth». *Bioelectromagnetics* 36 (2): 87–95. <https://doi.org/10.1002/BEM.21890>.
- Halmagyi, A., E. Surducun, et V. Surducun. 2017. «The Effect of Low- and High-Power Microwave Irradiation on in Vitro Grown Sequoia Plants and Their Recovery after Cryostorage». *Journal of Biological Physics* 43 (3): 367–79. <https://doi.org/10.1007/s10867-017-9457-4>.
- Halverson, Steven L., Wendell E. Burkholder, Timothy S. Bigelow, Erik V. Nordheim, et Mark E. Misenheimer. 1996. «High-Power Microwave Radiation as an Alternative Insect Control Method

- for Stored Products». *Journal of Economic Entomology* 89 (6): 1638–48. <https://doi.org/10.1093/jee/89.6.1638>.
- Hamada, E. A. M. 2007. «Effects of Microwave Treatment on Growth, Photosynthetic Pigments and Some Metabolites of Wheat». *Biologia Plantarum* 51 (2): 343–45. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0068-y>.
- Hamid, M. A. K., et R. J. Boulanger. 1969. «A New Method for the Control of Moisture and Insect Infestations of Grain by Microwave Power *». *Journal of Microwave Power* 4 (1): 11–18. <https://doi.org/10.1080/00222739.1969.11688696>.
- Hamid, M. A. K., C. S. Kashyap, et R. Van Cauwenberghe. 1968. «Control of Grain Insects by Microwave Power *». *Journal of Microwave Power* 3 (3): 126–35. <https://doi.org/10.1080/00222739.1968.11688679>.
- Hamnerius, Yngve, Hans Olofsson, Åsa Rasmuson, et Bertil Rasmuson. 1979. «A Negative Test for Mutagenic Action of Microwave Radiation in *Drosophila Melanogaster*». *Mutation Research/Genetic Toxicology* 68 (3): 217–23. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(79\)90153-8](https://doi.org/10.1016/0165-1218(79)90153-8).
- Hamnerius, Yngve, Åsa Rasmuson, et Bertil Rasmuson. 1985. «Biological Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields On *Salmonella Typhimurium* And *Drosophila Melanogaster*». *Bioelectromagnetics* 6 (4): 405–14. <https://doi.org/10.1002/bem.2250060407>.
- Hansen, J. D., S. R. Drake, M. L. Heidt, M. A. Watkins, J. Tang, et S. Wang. 2006. «RADIO FREQUENCY-HOT WATER DIPS FOR POSTHARVEST CODLING MOTH CONTROL IN APPLES». *Journal of Food Processing and Preservation* 30 (6): 631–42. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00094.x>.
- Hansen, J. D., S. R. Drake, M. A. Watkins, M. L. Heidt, P. A. Anderson, et J. Tang. 2006. «RADIO FREQUENCY PULSE APPLICATION FOR HEATING UNIFORMITY IN POSTHARVEST CODLING MOTH (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE) CONTROL OF FRESH APPLES (*MALUS DOMESTICA* BORKH.)». *Journal of Food Quality* 29 (5): 492–504. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00089.x>.
- Hansen, J. D., M. L. Heidt, M. A. Watkins, S. R. Drake, J. Tang, et S. Wang. 2004. «Radio Frequency Treatments for Postharvest Codling Moth Control in Fresh Apples». *HortTechnology* 14 (4): 533–37. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.4.0533>.
- . 2005. «Evaluation of Radio Frequency–Hot Water Treatments for Postharvest Control of Codling Moth in ‘Bing’ Sweet Cherries». *HortTechnology* 15 (3): 613–16. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.3.0613>.
- Hansen, J. D., S. Wang, et J. Tang. 2004. «A Cumulated Lethal Time Model to Evaluate Efficacy of Heat Treatments for Codling Moth *Cydia Pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in Cherries». *Postharvest Biology and Technology* 33 (3): 309–17. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.03.004>.
- Harte, Cornelia. 1975. «Mutagenesis by Radiowaves in *Antirrhinum Majus*», 5.
- Headlee, Thomas J. 1931. «The Differential Between the Effect of Radio Waves on Insects and on Plants». *Journal of Economic Entomology* 24 (2): 427–37. <https://doi.org/10.1093/jee/24.2.427>.
- . 1932. «Further Studies of the Effects of Electromagnetic Waves on Insects». *Journal of Economic Entomology* 25 (2): 276–88. <https://doi.org/10.1093/jee/25.2.276>.
- . 1933. «The Effect of Radio Waves on Internal Temperatures of Certain Insects». *Journal of Economic Entomology* 26 (2): 313–19. <https://doi.org/10.1093/jee/26.2.313>.
- Headlee, Thomas J., et D. Manley Jobbins. 1938. «Progress to Date on Studies of Radio Waves and Related Forms of Energy for Insect Control*». *Journal of Economic Entomology* 31 (5): 559–63. <https://doi.org/10.1093/jee/31.5.559>.
- Headlee, T. J., et R. C. Burdette. 2020. «Some Facts Relative to the Effect of High Frequency Radio Waves on Insect Activity». *Journal of the New York Entomological Society*, 7.
- Henry, Evan, Viacheslav Adamchuk, Trevor Stanhope, Christopher Buddle, et Nathaniel Rindlaub. 2019. «Precision Apiculture: Development of a Wireless Sensor Network for Honeybee Hives». *Computers and Electronics in Agriculture* 156 (janvier): 138–44. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.001>.
- Heynick, Louis N., Sheila A. Johnston, et Patrick A. Mason. 2003. «Radio Frequency Electromagnetic Fields: Cancer, Mutagenesis, and Genotoxicity». *Bioelectromagnetics* 24 (S6): S74–100. <https://doi.org/10.1002/bem.10162>.

- Heynick, Louis N., et James H. Merritt. 2003. «Radiofrequency Fields and Teratogenesis». *Bioelectromagnetics* 24 (S6): S174–86. <https://doi.org/10.1002/bem.10127>.
- Hiscock, Hamish G., Henrik Mouritsen, David E. Manolopoulos, et P.J. Hore. 2017. «Disruption of Magnetic Compass Orientation in Migratory Birds by Radiofrequency Electromagnetic Fields». *Biophysical Journal* 113 (7): 1475–84. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2017.07.031>.
- Hiscock, Hamish G., Susannah Worster, Daniel R. Kattinig, Charlotte Steers, Ye Jin, David E. Manolopoulos, Henrik Mouritsen, et P. J. Hore. 2016. «The Quantum Needle of the Avian Magnetic Compass». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (17): 4634–39. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600341113>.
- Hore, P. J., et Henrik Mouritsen. 2016. «The Radical-Pair Mechanism of Magnetoreception». *Annual Review of Biophysics* 45 (1): 299–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-biophys-032116-094545>.
- Hossmann, K.-A., et D. M. Hermann. 2003. «Effects of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on the Central Nervous System». *Bioelectromagnetics* 24 (1): 49–62. <https://doi.org/10.1002/bem.10068>.
- Hou, Lixia, Judy A. Johnson, et Shaojin Wang. 2016. «Radio Frequency Heating for Postharvest Control of Pests in Agricultural Products: A Review». *Postharvest Biology and Technology* 113 (mars): 106–18. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.011>.
- Huang, Zhi, Long Chen, et Shaojin Wang. 2015. «Computer Simulation of Radio Frequency Selective Heating of Insects in Soybeans». *International Journal of Heat and Mass Transfer* 90 (novembre): 406–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.06.071>.
- Hunt, E. Raymond, Li Li, M. Tugrul Yilmaz, et Thomas J. Jackson. 2011. «Comparison of Vegetation Water Contents Derived from Shortwave-Infrared and Passive-Microwave Sensors over Central Iowa». *Remote Sensing of Environment* 115 (9): 2376–83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.037>.
- Groupe de travail du CIRC sur l'évaluation des risques cancérigènes pour l'homme, l'Organisation mondiale de la santé et le Centre international de recherche sur le cancer, eds. 2013. *Non-Ionizing Radiation*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 102. Lyon, France: Genève: Centre international de recherche sur le cancer; Organisation mondiale de la santé.
- Ikediala, J.N., J. D. Hansen, J. Tang, S. R. Drake, et S. Wang. 2002. «Development of a Saline Water Immersion Technique with RF Energy as a Postharvest Treatment against Codling Moth in Cherries». *Postharvest Biology and Technology*, 13.
- Ikediala, J. Tang, S. R. Drake, et L. G. Neven. 2000. «DIELECTRIC PROPERTIES OF APPLE CULTIVARS AND CODLING MOTH LARVAE». *Transactions of the ASAE* 43 (5): 1175–84. <https://doi.org/10.13031/2013.3010>.
- Ikediala, J. Tang, et T. Wig. 2000. «A HEATING BLOCK SYSTEM FOR STUDYING THERMAL DEATH KINETICS OF INSECT PESTS». *Transactions of the ASAE* 43 (2): 351–58. <https://doi.org/10.13031/2013.2711>.
- Ikediala, J. N., J. Tang, L. G. Neven, et S. R. Drake. 1999. «Quarantine Treatment of Cherries Using 915 MHz Microwaves: Temperature Mapping, Codling Moth Mortality and Fruit Quality». *Postharvest Biology and Technology* 16 (2): 127–37. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00018-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00018-6).
- Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI)1. 2020. «Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 KHz to 300 GHz)». *Health Physics* 118 (5): 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>.
- Iritani, W. M., et G.W. Woodbury. 1954. «Use of Radio-Frequency Heat in Seed Treatment (025, Research Bulletin, 1954)». *Agricultural Experiment & UI Extension Publications*. 3 janvier 1954. <https://www.lib.uidaho.edu/digital/uiext/items/uiext4727.html>
- Ivanov, V. B., T. I. Subbotina, A. A. Khadartsev, M. A. Yashin, et A. A. Yashin. 2005. «Exposure to Low-Intensive Superhigh Frequency Electromagnetic Field as a Factor of Carcinogenesis in Experimental Animals». *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* 139 (2): 241–44. <https://doi.org/10.1007/s10517-005-0259-5>.
- Jangid, R. K., R. Sharma, Y. Sudarsan, S. Eapen, G. Singh, et A. K. Purohit. 2010. «Microwave Treatment Induced Mutations and Altered Gene Expression in *Vigna Aconitifolia*». *Biologia Plantarum* 54 (4): 703–6. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0124-x>.
- Jauchem, J. R., K. L. Ryan, J. D. Lovelace, et M. R. Frei. 1997a. «Effects of Esmolol on 35 GHz Microwave-Induced Lethal Heat Stress». *Journal of Autonomic Pharmacology* 17 (3): 165–73. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2680.1997.00453.x>.

- . 1997b. «Effects of Esmolol on 35 GHz Microwave-Induced Lethal Heat Stress». *Journal of Autonomic Pharmacology* 17 (3): 165–73. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2680.1997.00453.x>.
- Jauchem, J. R., K. L. Ryan, et M. R. Tehrany. 2004. «Effects of Histamine Receptor Blockade on Cardiovascular Changes Induced by 35 GHz Radio Frequency Radiation Heating». *Autonomic and Autacoid Pharmacology* 24 (1): 17–28. <https://doi.org/10.1111/j.1474-8673.2004.00309.x>.
- Jauchem, James R., Kathy L. Ryan, et Melvin R. Frei. 1999. «Cardiovascular and Thermal Responses in Rats during 94 GHz Irradiation». *Bioelectromagnetics*, 4.
- . 2000. «Cardiovascular and Thermal Effects of Microwave Irradiation at 1 and/or 10 GHz in Anesthetized Rats». *Bioelectromagnetics*, 8.
- Jauchem, James R., Kathy L. Ryan, et Thomas J. Walters. 2016. «Pathophysiological Alterations Induced by Sustained 35-GHz Radio-Frequency Energy Heating». *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology* 27 (1): 79–89. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2015-0011>.
- Jelínek, František, et Jaroslav Šaroch. 2007. «Measurement of Electromagnetic Activity of Yeast Cells at 42 GHz» 16 (1): 4.
- Jiao, S., J. A. Johnson, J. Tang, G. Tiwari, et S. Wang. 2011. «Dielectric Properties of Cowpea Weevil, Black-Eyed Peas and Mung Beans with Respect to the Development of Radio Frequency Heat Treatments». *Biosystems Engineering* 108 (3): 280–91. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.12.010>.
- Jiao, S., J. A. Johnson, J. Tang, et S. Wang. 2012. «Industrial-Scale Radio Frequency Treatments for Insect Control in Lentils». *Journal of Stored Products Research* 48 (janvier): 143–48. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.12.001>.
- Jinapang, Peeraya, Panida Prakob, Pongtorn Wongwattananard, Naz E. Islam, et Phumin Kirawanich. 2010. «Growth Characteristics of Mung Beans and Water Convolvulus Exposed to 425-MHz Electromagnetic Fields». *Bioelectromagnetics* 31 (7): 519–27. <https://doi.org/10.1002/bem.20584>.
- Johnson, J. A., P. V. Vail, E. L. Soderstrom, C. E. Curtis, D. G. Brandl, J. S. Tebbets, et K. A. Valero. 1998. «Integration of Nonchemical, Postharvest Treatments for Control of Navel Orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) and Indianmeal Moth (Lepidoptera: Pyralidae) in Walnuts». *Journal of Economic Entomology* 91 (6): 1437–44. <https://doi.org/10.1093/jee/91.6.1437>.
- Johnson, J. A., K. A. Valero, S. Wang, et J. Tang. 2004. «Thermal Death Kinetics of Red Flour Beetle (Coleoptera: Tenebrionidae)». *Journal of Economic Entomology* 97 (6): 1868–73. <https://doi.org/10.1093/jee/97.6.1868>.
- Johnson, J. A., S. Wang, et J. Tang. 2003. «Thermal Death Kinetics of Fifth-Instar *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)». *Journal of Economic Entomology* 96 (2): 519–24. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-96.2.519>.
- Johnson, J., et M. Marcotte. 1999. «Irradiation Control of Insect Pests of Dried Fruits and Walnuts» <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/32597>.
- Jördens, C., M. Scheller, B. Breitenstein, D. Selmar, et M. Koch. 2009. «Evaluation of Leaf Water Status by Means of Permittivity at Terahertz Frequencies». *Journal of Biological Physics* 35 (3): 255–64. <https://doi.org/10.1007/s10867-009-9161-0>.
- Joseph, Wout, Leen Verloock, Emmeric Tanghe, et Luc Martens. 2009. «In-Situ Measurement Procedures for Temporal RF Electromagnetic Field Exposure of the General Public»: *Health Physics* 96 (5): 529–42. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000341327.37310.c8>.
- Kadoum, A. M., H. J. Ball, et S. O. Nelson. 1967. «Morphological Abnormalities Resulting from Radiofrequency Treatment of Larvae of *Tenebrio Molitor*1». *Annals of the Entomological Society of America* 60 (5): 889–903. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.5.889>.
- Kadoum, A. M., S. O. Nelson, et L. E. Stetson. 1967. «Mortality and Internal Heating in Radiofrequency-Treated Larvae of *Tenebrio Molitor*1». *Annals of the Entomological Society of America* 60 (5): 885–89. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.5.885>.
- Kadoum, Ahmed M. 1969. «Effect of Radiofrequency Electric Field Treatment on Protein Metabolism in Yellow Meal Worm Larvae12». *Journal of Economic Entomology* 62 (1): 220–23. <https://doi.org/10.1093/jee/62.1.220>.
- Kadoum, Ahmed M., Harold J. Ball, et La Verne E. Stetson. 1967. «Metabolism in the Yellow Mealworm, *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), Following Exposure to Radiofrequency Electric

- Fields1». *Annals of the Entomological Society of America* 60 (6): 1195–99. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.6.1195>.
- Kains, J, K. L. Ryan, Patrick A. Mason, J. G. Bruno, R. Gooden, et Johnathan L. Kiel. 2000. «Oxidative Stress Precedes Circulatory Failure Induced by 35-GHz Microwave Heating». *SHOCK*.
- Karabulut, Ozgur Akgun, et Necati Baykal. 2002. «Evaluation of the Use of Microwave Power for the Control of Postharvest Diseases of Peaches». *Postharvest Biology and Technology* 26 (2): 237–40. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00026-1).
- Kavokin, Kirill, Nikita Chernetsov, Alexander Pakhomov, Julia Bojarinova, Dmitry Kobylkov, et Barot Namozov. 2014. «Magnetic Orientation of Garden Warblers (*Sylvia Borin*) under 1.4 MHz Radiofrequency Magnetic Field». *Journal of The Royal Society Interface* 11 (97): 20140451. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0451>.
- Kesari, Kavindra Kumar, et J. Behari. 2009. «Fifty-Gigahertz Microwave Exposure Effect of Radiations on Rat Brain». *Applied Biochemistry and Biotechnology* 158 (1): 126–39. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8469-8>.
- Kesari, Kavindra Kumar, et Jitendra Behari. 2010. «Microwave Exposure Affecting Reproductive System in Male Rats». *Applied Biochemistry and Biotechnology* 162 (2): 416–28. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8722-9>.
- Khalafallah, A. A., et Samira M. Sallam. 2009. «RESPONSE OF MAIZE SEEDLINGS TO MICROWAVES AT 945 MHz», 15.
- Khramov, R. N., E. A. Sosunov, S. V. Koltun, E. N. Ilyasova, et V. V. Lednev. 1991. «Millimeter-Wave Effects on Electric Activity of Crayfish Stretch Receptors». *Bioelectromagnetics* 12 (4): 203–14. <https://doi.org/10.1002/bem.2250120402>.
- Kimmel, Stefan. 2007. «Electromagnetic Radiation: Influences on Honeybees (*Apis Mellifera*). IAS-InterSymp Conference». In *IAS-InterSymp Conference*. https://www.researchgate.net/publication/292405747_Electromagnetic_radiation_Influences_on_honeybees_Apis_mellifera_IAS-InterSymp_Conference.
- Kirkpatrick, Robert L., John H. Brower, et Elvin W. Tilton. 1973. «Gamma, Infra-Red and Microwave Radiation Combinations for Control of *Rhizopertha Dominica* in Wheat». *Journal of Stored Products Research* 9 (1): 19–23. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(73\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0022-474X(73)90034-9).
- Kirkpatrick, Robert L., et John Roberts. 1971. «Insect Control in Wheat by Use of Microwave Energy». *JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY*, 2.
- Knox, Oliver G. G., Martin J. McHugh, James M. Fountaine, et Neil D. Havis. 2013. «Effects of Microwaves on Fungal Pathogens of Wheat Seed». *Crop Protection* 50 (août): 12–16. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.03.009>.
- Kojima, M., N. Hasanova, K. Sasaki, H. Sasaki, Y. Suzuki, M. Taki, K. Wake, S. Watanabe, Y. Kamimura, et A. Hirata. 2012. «Investigation of Ocular Temperature Change in Rabbits during 40 GHz Band Exposure». In *International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, 1–4. Rome: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMCEurope.2012.6396907>.
- Kojima, Masami, Masahiro Hanazawa, Yoko Yamashiro, Hiroshi Sasaki, Soichi Watanabe, Masao Taki, Yukihisa Suzuki, Akimasa Hirata, Yoshitsugu Kamimura, et Kazuyuki Sasaki. 2009. «ACUTE OCULAR INJURIES CAUSED BY 60-GHZ MILLIMETER-WAVE EXPOSURE». *Health Physics* 97 (3): 212–18. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181abaa57>.
- Kojima, Masami, Yukihisa Suzuki, Kensuke Sasaki, Masao Taki, Kanako Wake, Soichi Watanabe, Maya Mizuno, Takafumi Tasaki, et Hiroshi Sasaki. 2018. «Ocular Effects of Exposure to 40, 75, and 95 GHz Millimeter Waves». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 39 (9): 912–25. <https://doi.org/10.1007/s10762-018-0497-z>.
- Kojima, Masami, Yukihisa Suzuki, Cheng-Yu Tsai, Kensuke Sasaki, Kanako Wake, Soichi Watanabe, Masao Taki, et al. 2015. «Characteristics of Ocular Temperature Elevations after Exposure to Quasi- and Millimeter Waves (18-40 GHz)». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 36 (4): 390–99. <https://doi.org/10.1007/s10762-014-0142-4>.
- Kolosova, L. I., G. N. Akoev, V. D. Avelev, O. V. Riabchikova, et K. S. Babu. 1996. «Effect of Low-intensity Millimeter Wave Electromagnetic Radiation on Regeneration of the Sciatic Nerve in Rats». *Bioelectromagnetics*, 4.

- Korpan, Nikolai N., Karl-L. Resch, et Peter Kokoschinegg. 1994. «Continuous Microwave Enhances the Healing Process of Septic and Aseptic Wounds in Rabbits». *Journal of Surgical Research* 57 (6): 667–71. <https://doi.org/10.1006/jsre.1994.1198>.
- Koschnitzke, C., F. Kremer, L. Santo, P. Quick, et A. Poglitsch. 1983. «A Non-Thermal Effect of Millimeter Wave Radiation on the Puffing of Giant Chromosomes». *Zeitschrift Für Naturforschung C* 38 (9–10): 883–86. <https://doi.org/10.1515/znc-1983-9-1038>.
- Kouzmanova, M., M. Dimitrova, D. Dragolova, G. Atanasova, et N. Atanasov. 2009. «Alterations in Enzyme Activities in Leaves after Exposure of *Plectranthus Sp.* Plants to 900 MHz Electromagnetic Field». *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 23 (sup1): 611–15. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818499>.
- Kridi, Douglas S., Carlos Giovanni N. de Carvalho, et Danielo G. Gomes. 2016. «Application of Wireless Sensor Networks for Beehive Monitoring and In-Hive Thermal Patterns Detection». *Computers and Electronics in Agriculture* 127 (septembre): 221–35. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.013>.
- Kues, Henry A., Salvatore A. D'Anna, Robert Osiander, William R. Green, et John C. Monahan. 1999. «Absence of Ocular Effects after Either Single or Repeated Exposure to 10 MW/Cm² from a 60 GHz CW Source». *Bioelectromagnetics*, 11.
- Kumar, Arvind, Harminder Pal Singh, Daizy R. Batish, Shalinder Kaur, et Ravinder Kumar Kohli. 2016. «EMF Radiations (1800 MHz)-Inhibited Early Seedling Growth of Maize (*Zea Mays*) Involves Alterations in Starch and Sucrose Metabolism». *Protoplasma* 253 (4): 1043–49. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0863-9>.
- Kumar, Sanjay, Kavindra Kumar Kesari, et Jitendra Behari. 2011. «Influence of Microwave Exposure on Fertility of Male Rats». *Fertility and Sterility* 95 (4): 1500–1502. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2010.04.078>.
- La Vignera, S., R. A. Condorelli, E. Vicari, R. D'Agata, et A. E. Calogero. 2012. «Effects of the Exposure to Mobile Phones on Male Reproduction: A Review of the Literature». *Journal of Andrology* 33 (3): 350–56. <https://doi.org/10.2164/jandrol.111.014373>.
- Lai, H., A. Horita, C. K. Chou, et A. W. Guy. 1987a. «A Review of Microwave Irradiation and Actions of Psychoactive Drugs». *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 6 (1): 31–36. <https://doi.org/10.1109/MEMB.1987.5006372>.
- . 1987b. «A Review of Microwave Irradiation and Actions of Psychoactive Drugs». *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 6 (1): 31–36. <https://doi.org/10.1109/MEMB.1987.5006372>.
- Lázaro, A., A. Chroni, T. Tscheulin, J. Devalez, C. Matsoukas, et T. Petanidou. 2016. «Electromagnetic Radiation of Mobile Telecommunication Antennas Affects the Abundance and Composition of Wild Pollinators». *Journal of Insect Conservation* 20 (2): 315–24. <https://doi.org/10.1007/s10841-016-9868-8>.
- Le Dréan, Yves, Yonis Soubere Mahamoud, Yann Le Page, Denis Habauzit, Catherine Le Quément, Maxim Zhadobov, et Ronan Sauleau. 2013. «State of Knowledge on Biological Effects at 40–60 GHz». *Comptes Rendus Physique* 14 (5): 402–11. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2013.02.005>.
- Lee, Kyu-Sun, Jong-Soon Choi, Sae-Yong Hong, Tae-Ho Son, et Kweon Yu. 2008. «Mobile Phone Electromagnetic Radiation Activates MAPK Signaling and Regulates Viability In *Drosophila*». *Bioelectromagnetics* 29 (5): 371–79. <https://doi.org/10.1002/bem.20395>.
- Letokhov, V. S. 1974. «Scientific Session of the Division of General Physics and Astronomy, USSR Academy of Sciences (17-18 January 1973)», janvier, 3.
- Li, Du, Liu, Wu, Ye, Lin, Chen, et Wu. 2010. «Millimeter Wave Treatment Inhibits NO-Induced Apoptosis of Chondrocytes through the P38MAPK Pathway». *International Journal of Molecular Medicine* 25 (3). https://doi.org/10.3892/ijmm_00000357.
- Li, Ye, Yu, Cai, Li, Chen, Wu, et al. 2012. «Millimeter Wave Treatment Promotes Chondrocyte Proliferation via G1/S Cell Cycle Transition». *International Journal of Molecular Medicine*, février. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2012.919>.
- Liberti, M., F. Apollonio, C. Merla, et G. d'Inzeo. 2009. «Microdosimetry in the Microwave Range: A Quantitative Assessment at Single Cell Level». *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 8: 865–68. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2009.2028045>.

- Liddle, C. G., J. P. Putnam, O. L. Lewter, J. Y. Lewis, B. Bell, M. W. West, et A. Stead. 1986. «Effect of 9.6-GHz Pulsed Microwaves on the Orb Web Spinning Ability of the Cross Spider (*Araneus Diadematus*)». *Bioelectromagnetics* 7 (1): 101–5. <https://doi.org/10.1002/bem.2250070112>.
- Lin, James C. 2004. «Studies on Microwaves in Medicine and Biology: From Snails to Humans». *Bioelectromagnetics* 25 (3): 146–59. <https://doi.org/10.1002/bem.20004>.
- Lindauer, G. A., L. M. Liu, G. W. Skewes, et J. F. Rosenbaum. 1974. «Further Experiments Seeking Evidence of Nonthermal Biological Effects of Microwave Radiation (Short Papers)». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 22 (8): 790–93. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1974.1128337>.
- Liu, L. M., F. Garber, et S. F. Cleary. 1982. «Investigation of the Effects of Continuous-Wave, Pulse- and Amplitude-Modulated Microwaves on Single Excitable Cells of *Chara Corallina*». *Bioelectromagnetics* 3 (2): 203–12. <https://doi.org/10.1002/bem.2250030204>.
- Liu, L. M., F. J. Rosenbaum, et W. F. Pickard. 1975. «The Relation of Teratogenesis in *Tenebrio Molitor* to the Incidence of Low-Level Microwaves (Short Papers)». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 23 (11): 929–31. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1975.1128715>.
- . 1976. «Electric-Field Distribution Along Finite Length Lossy Dielectric Slabs in Waveguide». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 24 (4): 216–19. <https://doi.org/10.1109/TMTT.1976.1128819>.
- Logani, Mahendra K., Alexis Agelan, et Marvin C. Ziskin. 2002. «Effect of Millimeter Wave Radiation on Catalase Activity». *Electromagnetic Biology and Medicine* 21 (3): 303–8. <https://doi.org/10.1081/JBC-120016009>.
- Logani, Mahendra K., Altaf Anga, Imre Szabo, Alexis Agelan, Armando R. Irizarry, et Marvin C. Ziskin. 2002. «Effect of Millimeter Waves on Cyclophosphamide Induced Suppression of the Immune System». *Bioelectromagnetics* 23 (8): 614–21. <https://doi.org/10.1002/bem.10058>.
- Logani, Mahendra K., Ashok Bhanushali, Marvin C. Ziskin, et Thomas J. Prihoda. 2004. «Micronuclei in Peripheral Blood and Bone Marrow Cells of Mice Exposed to 42 GHz Electromagnetic Millimeter Waves». *Radiation Research* 161 (3): 341–45. <https://doi.org/10.1667/RR3121>.
- Logani, Mahendra K., Imre Szabo, Vera Makar, Ashok Bhanushali, Stan Alekseev, et Marvin C. Ziskin. 2006. «Effect of Millimeter Wave Irradiation on Tumor Metastasis». *Bioelectromagnetics* 27 (4): 258–64. <https://doi.org/10.1002/bem.20208>.
- Lopatina, N. G., T. G. Zachepilo, Nikolay G. Kamyshev, N. A. Dyuzhikova, et I. N. Serov. 2019. «Effect of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation on Behavior of the Honeybee, *Apis Mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae)». *Entomological Review*. <https://doi.org/10.1134/S0013873819010032>.
- Lowry, W. L., A. J. Chapman, F. T. Wratten, et J. P. Hollingsworth. 1954. «Tests of the Dielectric Treatment of Cotton Seed for Destroying Pink Bollworms». *Journal of Economic Entomology* 47 (6): 1022–23. <https://doi.org/10.1093/jee/47.6.1022>.
- Lushnikov, K. V., Yu. V. Shumilina, V. S. Yakushina, A. B. Gapeev, V. B. Sadovnikov, et N. K. Chemeris. 2004. «Effects of Low-Intensity Ultrahigh Frequency Electromagnetic Radiation on Inflammatory Processes». *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* 137 (4): 364–66. <https://doi.org/10.1023/B:BEBM.0000035131.54215.ca>.
- Lushnikov, Konstantin V., Julia V. Shumilina, Eugeny Yu. Yakushev, Andrew B. Gapeyev, Vladimir B. Sadovnikov, et Nikolai K. Chemeris. 2005. «Comparative Study of Anti-Inflammatory Effects of Low-Intensity Extremely High-Frequency Electromagnetic Radiation and Diclofenac on Footpad Edema in Mice». *Electromagnetic Biology and Medicine* 24 (2): 143–57. <https://doi.org/10.1080/15368370500253795>.
- Lysenyuk, V. P., I. Z. Samosyuk, Y. N. Kulikovich, et A. K. Kozhanova. 2000. «EXPERIMENTAL STUDY ON THE LOW-INTENSITY MILLIMETER-WAVE ELECTRO-MAGNETIC STIMULATION OF ACUPUNCTURE POINTS». *Acupuncture & Electro-Therapeutics Research* 25 (2): 91–99. <https://doi.org/10.3727/036012900816356181>.
- M. C. Lagunas-Solar, Z. Pan, N. X. Zeng, T. D. Truong, R. Khir, et K. S. P. Amaratunga. 2007. «Application of Radiofrequency Power for Non-Chemical Disinfestation of Rough Rice with Full Retention of Quality Attributes». *Applied Engineering in Agriculture* 23 (5): 647–54. <https://doi.org/10.13031/2013.23661>.

- Magone, I. 1996. «The Effect of Electromagnetic Radiation from the Skrunđa Radio Location Station on *Spirodela Polyrhiza* (L.) Schleiden Cultures». *Science of The Total Environment* 180 (1): 75–80. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04922-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04922-3).
- Mahfouz, Zaher, Azeddine Gati, David Lautru, Man-Fai Wong, Joe Wiart, et Victor Fouad Hanna. 2012. «Influence of Traffic Variations on Exposure to Wireless Signals in Realistic Environments». *Bioelectromagnetics* 33 (4): 288–97. <https://doi.org/10.1002/bem.20705>.
- Makar, Vera, Mahendra Logani, Imre Szabo, et Marvin Ziskin. 2003. «Effect of Millimeter Waves on Cyclophosphamide Induced Suppression of T Cell Functions». *Bioelectromagnetics* 24 (5): 356–65. <https://doi.org/10.1002/bem.10106>.
- Makar, V. R., M. K. Logani, A. Bhanushali, S. I. Alekseev, et M. C. Ziskin. 2006. «Effect of Cyclophosphamide and 61.22 GHz Millimeter Waves on T-Cell, B-Cell, and Macrophage Functions». *Bioelectromagnetics* 27 (6): 458–66. <https://doi.org/10.1002/bem.20230>.
- Makar, V. R., M. K. Logani, A. Bhanushali, M. Kataoka, et M. C. Ziskin. 2005. «Effect of Millimeter Waves on Natural Killer Cell Activation». *Bioelectromagnetics* 26 (1): 10–19. <https://doi.org/10.1002/bem.20046>.
- Malkemper, E. Pascal, Stephan H. K. Eder, Sabine Begall, John B. Phillips, Michael Winklhofer, Vlastimil Hart, et Hynek Burda. 2015. «Magnetoreception in the Wood Mouse (*Apodemus Sylvaticus*): Influence of Weak Frequency-Modulated Radio Frequency Fields». *Scientific Reports* 5 (1): 9917. <https://doi.org/10.1038/srep09917>.
- Malkemper, E. Pascal, T. Tscheulin, Adam J. Vanbergen, Alain Vian, Estelle Balian, et Lise Goudeseune. 2018. «The Impacts of Artificial Electromagnetic Radiation on Wildlife (Flora and Fauna). Current Knowledge Overview: A Background Document to the Web Conference».
- Manikowska, Ewa, J. M. Luciani, B. Servantie, P. Czerski, Jeanine Obrenovitch, et A. Stahl. 1979. «Effects of 9.4 GHz Microwave Exposure on Meiosis in Mice». *Experientia* 35 (3): 388–90. <https://doi.org/10.1007/BF01964370>.
- Manna, Debashri, et Rita Ghosh. 2016. «Effect of Radiofrequency Radiation in Cultured Mammalian Cells: A Review». *Electromagnetic Biology and Medicine* 35 (3): 265–301. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1092158>.
- Manta, Areti K., Deppie Papadopoulou, Alexander P. Polyzos, Adamantia F. Fragopoulou, Aikaterini S. Skouroliakou, Dimitris Thanos, Dimitrios J. Stravopodis, et Lukas H. Margaritis. 2017. «Mobile-Phone Radiation-Induced Perturbation of Gene-Expression Profiling, Redox Equilibrium and Sporadic-Apoptosis Control in the Ovary of *Drosophila Melanogaster*». *Fly* 11 (2): 75–95. <https://doi.org/10.1080/19336934.2016.1270487>.
- Manta, Areti K., Dimitrios J. Stravopodis, Issidora S. Papassideri, et Lukas H. Margaritis. 2014. «Reactive Oxygen Species Elevation and Recovery in *Drosophila* Bodies and Ovaries Following Short-Term and Long-Term Exposure to DECT Base EMF». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33 (2): 118–31. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.791991>.
- Marec, F., J. Ondráček, et V. Brunnhofer. 1985. «The Effect of Repeated Microwave Irradiation on the Frequency of Sex-Linked Recessive Lethal Mutations in *Drosophila Melanogaster*». *Mutation Research/Genetic Toxicology* 157 (2–3): 163–67. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(85\)90112-0](https://doi.org/10.1016/0165-1218(85)90112-0).
- Margaritis, Lukas H., Areti K. Manta, Konstantinos D. Kokkaliaris, Dimitra Schiza, Konstantinos Alimisis, Georgios Barkas, Eleana Georgiou, et al. 2014a. «*Drosophila* Oogenesis as a Bio-Marker Responding to EMF Sources». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33 (3): 165–89. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.800102>.
- . 2014b. «*Drosophila* Oogenesis as a Bio-Marker Responding to EMF Sources». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33 (3): 165–89. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.800102>.
- Marino, Carmela, Isabelle Lagroye, Maria Rosaria Scarfi, et Zenon Sienkiewicz. 2011. «Are the Young More Sensitive than Adults to the Effects of Radiofrequency Fields? An Examination of Relevant Data from Cellular and Animal Studies». *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 107 (3): 374–85. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2011.09.002>.
- Marzetta, Thomas L. 2010. «Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas». *IEEE Transactions on Wireless Communications* 9 (11): 3590–3600. <https://doi.org/10.1109/TWC.2010.092810.091092>.

- Mason, P. A. 2001. «Lack of Effect of 94 GHz Radio Frequency Radiation Exposure in an Animal Model of Skin Carcinogenesis». *Carcinogenesis* 22 (10): 1701–8. <https://doi.org/10.1093/carcin/22.10.1701>.
- Massa, R., E. Caprio, M. De Santis, R. Griffo, M. D. Migliore, G. Panariello, D. Pinchera, et P. Spigno. 2011. «Microwave Treatment for Pest Control: The Case of *Rhynchophorus Ferrugineus* in Phoenix Canariensis: Microwave Treatment for Pest Control». *EPPO Bulletin* 41 (2): 128–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2011.02447.x>.
- Massa, Rita, Marco Donald Migliore, Gaetano Panariello, Daniele Pinchera, Fulvio Schettino, Emilio Caprio, et Raffaele Griffo. 2014. «Wide Band Permittivity Measurements of *Palm* (Phoenix Canariensis) and *Rhynchophorus Ferrugineus* (Coleoptera Curculionidae) for RF Pest Control». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 48 (3): 158–69. <https://doi.org/10.1080/08327823.2014.11689880>.
- McAfee, R. D., A. Longacre, R. R. Bishop, S. T. Elder, J. G. May, M. G. Holland, et R. Gordon. 1979. «Absence of Ocular Pathology after Repeated Exposure of Unanesthetized Monkeys to 9.3-GHz Microwaves». *Journal of Microwave Power* 14 (1): 41–44. <https://doi.org/10.1080/16070658.1979.11689126>.
- McAfee, Robert D., Rolando Ortiz-Lugo, Richard Bishop, et Robert Gordon. 1983. «Absence of Deleterious Effects of Chronic Microwave Radiation on the Eyes of Rhesus Monkeys». *Ophthalmology* 90 (10): 1243–45. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(83\)34402-X](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(83)34402-X).
- Melnick, Ronald L., Charles P. Rubenstein, et Leo Birenbaum. 1982. «Effects of Millimeter Wave Irradiation on ATP Synthesis and Calcium Transport in Mitochondria». *Radiation Research* 89 (2): 348. <https://doi.org/10.2307/3575780>.
- Millenbaugh, Nancy J., Johnathan L. Kiel, Kathy L. Ryan, Robert V. Blystone, John E. Kalns, Becky J. Brott, Cesario Z. Cerna, William S. Lawrence, Laura L. Soza, et Patrick A. Mason. 2006. «COMPARISON OF BLOOD PRESSURE AND THERMAL RESPONSES IN RATS EXPOSED TO MILLIMETER WAVE ENERGY OR ENVIRONMENTAL HEAT»: *SHOCK* 25 (6): 625–32. <https://doi.org/10.1097/01.shk.0000209550.11087.fd>.
- Millenbaugh, Nancy J., Caleb Roth, Roza Sypniewska, Victor Chan, Jeffrey S. Eggers, Johnathan L. Kiel, Robert V. Blystone, et Patrick A. Mason. 2008. «Gene Expression Changes in the Skin of Rats Induced by Prolonged 35 GHz Millimeter-Wave Exposure». *Radiation Research* 169 (3): 288–300. <https://doi.org/10.1667/RR1121.1>.
- Millsbaugh, Joshua J., et John M. Marzluff. 2001. «Radio-Tracking and Animal Populations: Past Trends and Future Needs», 11.
- Mitcham, E. J., R. H. Veltman, X. Feng, E. de Castro, J. A. Johnson, T. L. Simpson, W. V. Biasi, S. Wang, et J. Tang. 2004. «Application of Radio Frequency Treatments to Control Insects in In-Shell Walnuts». *Postharvest Biology and Technology* 33 (1): 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.004>.
- Mittler, Sidney. 1976. «Failure of 2- and 10-Meter Radio Waves to Induce Genetic Damage in *Drosophila Melanogaster*». *Environmental Research* 11 (3): 326–30. [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(76\)90094-3](https://doi.org/10.1016/0013-9351(76)90094-3).
- . 1977. «Failure of Chronic Exposure to Nonthermal FM Radio Waves to Mutate *Drosophila*». *Journal of Heredity* 68 (4): 257–58. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a108826>.
- Monzon, Maria E., Bill Biasi, Elizabeth J. Mitcham, Shaojin Wang, Juming Tang, et Guy J. Hallman. 2007. «Effect of Radiofrequency Heating on the Quality of Fuyu Persimmon Fruit as a Treatment for Control of the Mexican Fruit Fly». *HORTSCIENCE* 42: 5.
- Monzon, M. E., B. Biasi, T. L. Simpson, J. Johnson, X. Feng, D. C. Slaughter, et E. J. Mitcham. 2006. «Effect of Radio Frequency Heating as a Potential Quarantine Treatment on the Quality of 'Bing' Sweet Cherry Fruit and Mortality of Codling Moth Larvae». *Postharvest Biology and Technology* 40 (2): 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.011>.
- Mouritsen, Henrik. 2018. «Long-Distance Navigation and Magnetoreception in Migratory Animals». *Nature* 558 (7708): 50–59. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0176-1>.
- Narinyan, Lilia, et Sinerik Ayrapetyan. 2017. «Cyclic AMP-Dependent Signaling System Is a Primary Metabolic Target for Non-Thermal Effect of Microwaves on Heart Muscle Hydration». *Electromagnetic Biology and Medicine* 36 (2): 182–91. <https://doi.org/10.1080/15368378.2016.1241803>.

- Nelson. 1966. «Electromagnetic and Sonic Energy for Insect Control». *Transactions of the ASAE* 9 (3): 0398–0403. <https://doi.org/10.13031/2013.39990>.
- . 1996. «Review and Assessment of Radio-Frequency and Microwave Energy for Stored-Grain Insect Control». *Transactions of the ASAE* 39 (4): 1475–84. <https://doi.org/10.13031/2013.27641>.
- Nelson et L. F. Charity. 1972. «Frequency Dependence of Energy Absorption by Insects and Grain in Electric Fields». *Transactions of the ASAE* 15 (6): 1099–1102. <https://doi.org/10.13031/2013.38079>.
- Nelson et J. A. Payne. 1982. «RF Dielectric Heating for Pecan Weevil Control». *Transactions of the ASAE* 25 (2): 0456–58. <https://doi.org/10.13031/2013.33554>.
- Nelson, S. O. 1960. «Radio-Frequency Electric Fields for Stored Grain Insect Control». *Transactions of the ASAE* 3 (2): 0133–37. <https://doi.org/10.13031/2013.41143>.
- Nelson, S. O. 1973. «Insect-Control Studies with Microwaves and Other Radiofrequency Energy». *Bulletin of the Entomological Society of America* 19 (3): 157–63. <https://doi.org/10.1093/besa/19.3.157>.
- . 1976. «Use of Microwave and Lower Frequency RF Energy for Improving Alfalfa Seed Germination». *Journal of Microwave Power* 11 (3): 271–77. <https://doi.org/10.1080/00222739.1976.11689000>.
- Nelson, S. O. 2004. «RF AND MICROWAVE PERMITTIVITIES OF INSECTS AND SOME APPLICATIONS». *URSI EMTS*, 4.
- Nelson, S. O., et B. H. Kantack. 1966. «Stored-Grain Insect Control Studies With Radio-Frequency Energy¹». *Journal of Economic Entomology* 59 (3): 588–94. <https://doi.org/10.1093/jee/59.3.588>.
- Nelson, S. O., W. R. Kehr, L. E. Stetson, R. B. Stone, et J. C. Webb. 1977. «Alfalfa Seed Germination Response to Electrical Treatments¹». *Crop Science* 17 (6): 863–66. <https://doi.org/10.2135/cropsci1977.0011183X001700060012x>.
- Nelson, S. O., W. R. Kehr, L. E. Stetson, et W. W. Wolf. 1977. «Laboratory Germination and Sand Emergence Responses of Alfalfa Seed to Radiofrequency Electrical Treatment¹». *Crop Science* 17 (4): 534–38. <https://doi.org/10.2135/cropsci1977.0011183X001700040013x>.
- Nelson, S. O., Y. Lu, L. R. Beuchat, et M. A. Harrison. 2002. «RADIO-FREQUENCY HEATING OF ALFALFA SEED FOR REDUCING HUMAN PATHOGENS». *TRANSACTIONS OF THE ASAE* 45 (janvier): 7.
- Nelson, S. O., P. G. Bartley, Jr., et K. C. Lawrence. 1998. «RF AND MICROWAVE DIELECTRIC PROPERTIES OF STORED-GRAIN INSECTS AND THEIR IMPLICATIONS FOR POTENTIAL INSECT CONTROL». *Transactions of the ASAE* 41 (3): 685–92. <https://doi.org/10.13031/2013.17194>.
- Nelson, S. O., et L. E. Stetson. 1974. «Comparative Effectiveness of 39- and 2450-MHz Electric Fields for Control of Rice Weevils in Wheat¹²³⁴». *Journal of Economic Entomology* 67 (5): 592–95. <https://doi.org/10.1093/jee/67.5.592>.
- Nelson, S. O. 1974. «Insect-Control Possibilities Using Microwaves and Lower Frequency RF Energy». In *S-MTT International Microwave Symposium Digest*, 27–29. Atlanta, Géorgie, États-Unis: MTT004. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1974.1123468>.
- . 1991. «Dielectric Properties of Agricultural Products-Measurements and Applications». *IEEE Transactions on Electrical Insulation* 26 (5): 845–69. <https://doi.org/10.1109/14.99097>.
- . 2001. «Radio-Frequency: And Microwave Dielectric Properties of Insects». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 36 (1): 47–56. <https://doi.org/10.1080/08327823.2001.11688448>.
- Nelson, S. O., P. G. Bartley, et K. C. Lawrence. 1997. «Measuring RF and Microwave Permittivities of Adult Rice Weevils». *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 46 (4): 941–46. <https://doi.org/10.1109/19.650805>.
- Neubauer, Georg, Stefan Cecil, Wolfram Giczi, Benjamin Petric, Patrick Preiner, Jürg Fröhlich, et Martin Rösli. 2010. «The Association between Exposure Determined by Radiofrequency Personal Exposimeters and Human Exposure: A Simulation Study». *Bioelectromagnetics* 31 (7): 535–45. <https://doi.org/10.1002/bem.20587>.
- Newsom, Bernard. 1987. «Research Plan for Study of Biological and Ecological Effects of the Solar Power Satellite Transmission System». Nasa Contractor Report 3044.
- Nicholls, Barry, et Paul A. Racey. 2009. «The Aversive Effect of Electromagnetic Radiation on Foraging Bats—A Possible Means of Discouraging Bats from Approaching Wind Turbines». Édité par Raphaël Arlettaz. *PLoS ONE* 4 (7): e6246. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006246>.

- Nie, Pengcheng, Fangfang Qu, Lei Lin, Tao Dong, Yong He, Yongni Shao, et Yi Zhang. 2017. «Detection of Water Content in Rapeseed Leaves Using Terahertz Spectroscopy». *Sensors* 17 (12): 2830. <https://doi.org/10.3390/s17122830>.
- Ning Huansheng, Chen Weishi, Mao Xia, et Li Jing. 2010. «Bird-Aircraft Strike Avoidance Radar». *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 25 (1): 19–28. <https://doi.org/10.1109/MAES.2010.5442150>.
- Nittby, Henrietta, Gustav Grafström, Jacob L. Eberhardt, Lars Malmgren, Arne Brun, Bertil R. R. Persson, et Leif G. Salford. 2008. «Radiofrequency and Extremely Low-Frequency Electromagnetic Field Effects on the Blood-Brain Barrier». *Electromagnetic Biology and Medicine* 27 (2): 103–26. <https://doi.org/10.1080/15368370802061995>.
- Nittby, Henrietta, Mehri Kaviani Moghadam, Wenjun Sun, Lars Malmgren, Jacob Eberhardt, Bertil R. Persson, et Leif G. Salford. 2012. «Analgetic Effects of Non-Thermal GSM-1900 Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Land Snail *Helix Pomatia*». *International Journal of Radiation Biology* 88 (3): 245–52. <https://doi.org/10.3109/09553002.2012.644257>.
- Novoselova, E. G., E. E. Fesenko, V. R. Makar, et V. B. Sadovnikov. 1999. «Microwaves and Cellular Immunity II. Immunostimulating Effects of Microwaves and Naturally Occurring Antioxidant Nutrients». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 5.
- Obe, Guenter. 2004. «Controversial Cytogenetic Observations in Mammalian Somatic Cells Exposed to Radiofrequency Radiation». *Radiation Research* 162 (5): 481–96. <https://doi.org/10.1667/RR3252>.
- Odemer, Richard, et Franziska Odemer. 2019. «Effects of Radiofrequency Electromagnetic Radiation (RF-EMF) on Honey Bee Queen Development and Mating Success». *Science of The Total Environment* 661 (avril): 553–62. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.154>.
- Olsen, Richard G. 1977. «Insect Teratogenesis in a Standing-Wave Irradiation System». *Radio Science* 12 (6S): 199–207. <https://doi.org/10.1029/RS012i06Sp00199>.
- . 1982. «Constant-Dose Microwave Irradiation of Insect Pupae». *Radio Science* 17 (5S): 1455-1485. <https://doi.org/10.1029/RS017i05Sp01455>.
- Oluwajobi, Ayoola O., Olamide A. Falusi, et Nuha A. Zubair. 2014. «Flower Bud Abscission Reduced in Hibiscus Sabdariffa by Radiation from GSM Mast». *Environment and Pollution* 4 (1): p53. <https://doi.org/10.5539/ep.v4n1p53>.
- Ondráček, J., et V. Brunnhofer. 1984. «Dielectric Properties of Insect Tissues. - Abstract - Europe PMC». *Gen. Physiol. Biophys.* <https://europepmc.org/article/med/6479581>.
- Pakhomov, A. G., et P. R. Murthy. 2000. «Low-Intensity Millimeter Waves as a Novel Therapeutic Modality». *IEEE Transactions on Plasma Science* 28 (1): 34–40. <https://doi.org/10.1109/27.842821>.
- Pakhomov, Andrei G., Yahya Akyel, Olga N. Pakhomova, Bruce E. Stuck, et Michael R. Murphy. 1998. «Current State and Implications of Research on Biological Effects of Millimeter Waves: A Review of the Literature». *Bioelectromagnetics* 19 (7): 393–413. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1998\)19:7<393::AID-BEM1>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1998)19:7<393::AID-BEM1>3.0.CO;2-X).
- Pakhomov, Andrei G., Joanne Doyle, Bruce E. Stuck, et Michael R. Murphy. 2003. «Effects of High Power Microwave Pulses on Synaptic Transmission and Long Term Potentiation in Hippocampus». *Bioelectromagnetics* 24 (3): 174–81. <https://doi.org/10.1002/bem.10079>.
- Pakhomov, Andrei G., H. K. Prol, S. P. Mathur, Y Akyel, et C. B. G. Campbell. 1997a. «Search for Frequency-specific Effects of Millimeter-wave Radiation on Isolated Nerve Function». *Bioelectromagnetics*, 11.
- Pakhomov, Andrei G., H. K. Prol, Satnam P. Mathur, Yahya Akyel, et C. B. G. Campbell. 1997b. «Frequency-Specific Effects of Millimeter-Wavelength Electromagnetic Radiation in Isolated Nerve». *Electro- and Magnetobiology* 16 (1): 43–57. <https://doi.org/10.3109/15368379709016172>.
- Pakhomov, Andrei G., Howard K. Prol, Satnam P. Mathur, Yahya Akyel, et C. B. G. Campbell. 1997c. «Role of Field Intensity in the Biological Effectiveness of Millimeter Waves at a Resonance Frequency». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 43 (1): 27–33. [https://doi.org/10.1016/S0302-4598\(97\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0302-4598(97)00022-6).
- Pakhomova, Olga N., Andrei G. Pakhomov, et Yahya Akyel. 1997. «Effect of Millimeter Waves on UV-Induced Recombination and Mutagenesis in Yeast». *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 43 (2): 227–32. [https://doi.org/10.1016/S0302-4598\(96\)05158-6](https://doi.org/10.1016/S0302-4598(96)05158-6).

- Palazzari, V., P. Mezzanotte, F. Alimenti, F. Fratini, G. Orecchini, M. Virili, C. Mariotti, et L. Roselli. 2015. «Leaf Compatible 'Eco-Friendly' Temperature Sensor Clip for High Density Monitoring Wireless Networks». In *2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, 1–4. Lecce: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MMS.2015.7375456>.
- Panagopoulos, Dimitris J. 2012. «Effect of Microwave Exposure on the Ovarian Development of *Drosophila Melanogaster*». *Cell Biochemistry and Biophysics* 63 (2): 121–32. <https://doi.org/10.1007/s12013-012-9347-0>.
- . 2019. «Comparing DNA Damage Induced by Mobile Telephony and Other Types of Man-Made Electromagnetic Fields». *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 781 (juillet): 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.03.003>.
- Panagopoulos, Dimitris J., Evangelia D. Chavdoula, Andreas Karabarbounis, et Lukas H. Margaritis. 2007. «Comparison of Bioactivity Between GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz Mobile Telephony Radiation». *Electromagnetic Biology and Medicine* 26 (1): 33–44. <https://doi.org/10.1080/15368370701205644>.
- Panagopoulos, Dimitris J., Evangelia D. Chavdoula, et Lukas H. Margaritis. 2010. «Bioeffects of Mobile Telephony Radiation in Relation to Its Intensity or Distance from the Antenna». *International Journal of Radiation Biology* 86 (5): 345–57. <https://doi.org/10.3109/09553000903567961>.
- Panagopoulos, Dimitris J., Evangelia D. Chavdoula, Ioannis P. Nezis, et Lukas H. Margaritis. 2007. «Cell Death Induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz Mobile Telephony Radiation». *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 626 (1–2): 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2006.08.008>.
- Panagopoulos, Dimitris J., Olle Johansson, et George L. Carlo. 2015. «Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies». *BioMed Research International* 2015: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/607053>.
- Panagopoulos, Dimitris J., Andreas Karabarbounis, et Lukas H. Margaritis. 2004. «Effect of GSM 900-MHz Mobile Phone Radiation on the Reproductive Capacity of *Drosophila Melanogaster*». *ELECTROMAGNETIC BIOLOGY AND MEDICINE*. <https://doi.org/10.1081/JBC-120039350>.
- Panagopoulos, Dimitris J., et Lukas H. Margaritis. 2008. «MOBILE TELEPHONY RADIATION EFFECTS ON LIVING ORGANISMS», 43.
- Panagopoulos, Dimitris J., et Lukas H. Margaritis. 2010. «The Effect of Exposure Duration on the Biological Activity of Mobile Telephony Radiation». *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 699 (1–2): 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2010.04.010>.
- Pande, Ranjana, H. N. Mishra, et M. N. Singh. 2012. «Microwave Drying for Safe Storage and Improved Nutritional Quality of Green Gram Seed (*Vigna Radiata*)». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (14): 3809–16. <https://doi.org/10.1021/jf204540n>.
- Panicker, Jithu G., Mohamed Azman, et Rajiv Kashyap. 2019. «A LoRa Wireless Mesh Network for Wide-Area Animal Tracking». In *2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, 1–5. Coimbatore, Inde: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICECCT.2019.8868958>.
- Parker, James E., Charles W. Beason, Stephen P. Sturgeon, William B. Voorhees, Samuel S. Johnson, Kaitlin S. Nelson, Leland R. Johnson, et Jeffrey N. Whitmore. 2020. «Revisiting 35 and 94 GHz Millimeter Wave Exposure to the Non-Human Primate Eye». *Health Physics* 119 (2): 206–15. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001216>.
- Partlow, L. M., L. G. Bush, L. J. Stensaas, D. W. Hill, A. Riaz, et O. P. Gandhi. 1981. «Effects of Millimeter-Wave Radiation on Monolayer Cell Cultures. I. Design and Validation of a Novel Exposure System». *Bioelectromagnetics* 2 (2): 123–40. <https://doi.org/10.1002/bem.2250020204>.
- Paulraj, R., et J. Behari. 2006. «Single Strand DNA Breaks in Rat Brain Cells Exposed to Microwave Radiation». *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 596 (1–2): 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2005.12.006>.
- Pay, Tim L., F. Alan Andersen, et Gordon L. Jessup. 1978. «A Comparative Study of the Effects of Microwave Radiation and Conventional Heating on the Reproductive Capacity of *Drosophila Melanogaster*». *Radiation Research* 76 (2): 271. <https://doi.org/10.2307/3574778>.
- Pi, Zhouyue, et Farooq Khan. 2011. «An Introduction to Millimeter-Wave Mobile Broadband Systems». *IEEE Communications Magazine* 49 (6): 101–7. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5783993>.

- Pickard, William F., et Richard G. Olsen. 1979. «Developmental Effects of Microwaves on *Tenebrio*: Influences of Culturing Protocol and of Carrier Frequency». *Radio Science* 14 (6S): 181–85. <https://doi.org/10.1029/RS014i06Sp00181>.
- Pikov, Victor, Xianghong Arakaki, Michael Harrington, Scott E. Fraser, et Peter H. Siegel. 2010. «Modulation of Neuronal Activity and Plasma Membrane Properties with Low-Power Millimeter Waves in Organotypic Cortical Slices». *Journal of Neural Engineering* 7 (4): 045003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/7/4/045003>.
- Pikov, Victor, et Peter H. Siegel. 2011. «Millimeter Wave-Induced Changes in Membrane Properties of Leech Retzius Neurons». In *SPIE BiOS*, 788356. San Francisco, Californie, États-Unis. <https://doi.org/10.1117/12.875758>.
- Poh, Abdul Halim, Mahmoud Moghavvemi, M. M. Shafiei, C. S. Leong, Yee Ling Lau, Faisal Rafiq Mahamd Adikan, Majid Bakhtiari, et Mahmood Ameen Abdulla Hassan. 2017. «Effects of Low-Powered RF Sweep between 0.01-20 GHz on Female *Aedes Aegypti* Mosquitoes: A Collective Behaviour Analysis». Édité par Jiang-Shiou Hwang. *PLOS ONE* 12 (6): e0178766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178766>.
- Poison, P, D. C. L Jones, A. Karp, et J. S. Krebs. 1974. «Mortality in Rats Exposed to CW Microwave Radiation at 0.95, 2.45, 4.54, and 7.44 GHz». DAAK02-73-C-0453.
- Pomerai, David I. de, Adam Dawe, Louisa Djerbib, Joanna Allan, Gillian Brunt, et Clare Daniells. 2002. «Growth and Maturation of the Nematode *Caenorhabditis Elegans* Following Exposure to Weak Microwave Fields». *Enzyme and Microbial Technology* 30 (1): 73–79. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00459-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00459-8).
- Ponomaryova, Iryna A., Luís Niño de Rivera y Oyarzabal, et Eduardo Ruíz Sánchez. 2008. «Interaction of Radio-Frequency, High-Strength Electric Fields with Harmful Insects». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 43 (4): 17–27. <https://doi.org/10.1080/08327823.2008.11688621>.
- Pour-El, A., S. O. Nelson, E. E. Peck, B. Tjho, et L. E. Stetson. 1981. «Biological Properties of VHF- and Microwave-Heated Soybeans». *Journal of Food Science* 46 (3): 880–85. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb15371.x>.
- Pramod, Mall, et Kumar Yogesh. 2014. «Effect of Electromagnetic Radiations on Brooding, Honey Production and Foraging Behavior of European Honeybees (*Apis Mellifera* L.)». *African Journal of Agricultural Research* 9 (13): 1078–85. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8077>.
- Prausnitz, S., et C. Sutsskind. 1962. «Effects of Chronic Microwave Irradiation on Mice». *IRE Transactions on Bio-Medical Electronics* 9 (2): 104–8. <https://doi.org/10.1109/TBMEL.1962.4322972>.
- Pujol, Frédéric, Carole Manero, Basile Carle, et Santiago Remis. 2020. «5G Observatory Quarterly Report 8», 132.
- Qiu, Zong-Bo, Jun-Li Guo, Man-Man Zhang, Meng-Yun Lei, et Zhen-Lin Li. 2013. «Nitric Oxide Acts as a Signal Molecule in Microwave Pretreatment Induced Cadmium Tolerance in Wheat Seedlings». *Acta Physiologiae Plantarum* 35 (1): 65–73. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1048-1>.
- Qureshi, Sadaf Tabasum, Sajjad Ahmed Memon, Abdul Rasool Abassi, Mahboob Ali Sial, et Farooque Ali Bughio. 2017. «Radiofrequency Radiations Induced Genotoxic and Carcinogenic Effects on Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) Root Tip Cells». *Saudi Journal of Biological Sciences* 24 (4): 883–91. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.011>.
- R. Vadivambal, D. S. Jayas, et N. D. G. White. 2006. «Disinfestation of Life Stages of *Tribolium Castaneum* in Wheat Using Microwave Energy». In *2006 CSBE/SCGAB, Edmonton, AB Canada, July 16-19, 2006*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.22074>.
- Răcuciu, Mihaela. 2015. «Inhibitory Effects of Low Thermal Radiofrequency Radiation on Physiological Parameters Of *Zeamays* Seedlings Growth». janvier, 10.
- Răcuciu, Mihaela, Simona Miclăuș, et Dorina E. Creangă. 2008. «Non-Thermal, Continuous and Modulated RF Field Effects on Vegetal Tissue Developed from Exposed Seeds». *Health and Environment*, janvier, 9.
- Radic, Sandra, Petra Cvjetko, Kresimir Malaric, Mirta Tkalec, et Branka Pevalek-Kozlina. 2007. «Radio Frequency Electromagnetic Field (900 MHz) Induces Oxidative Damage to DNA and Biomembrane in Tobacco Shoot Cells (*Nicotiana Tabacum*)». In *2007 IEEE/MTT-S International*

- Microwave Symposium*, 2213–16. Honolulu, Hawaï, États-Unis: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2007.380400>.
- Radzevičius, Audrius, Sandra Sakalauskienė, Mindaugas Dagys, Rimantas Simniškis, Rasa Karklelienė, Česlovas Bobinas, et Pavelas Duchovskis. 2013. «The Effect of Strong Microwave Electric Field Radiation on: (1) Vegetable Seed Germination and Seedling Growth Rate». *Zemdirbyste-Agriculture* 100 (2): 179–84. <https://doi.org/10.13080/z-a.2013.100.023>.
- Radzievsky, A., O. Gordiienko, A. Cowan, S. I. Alekseev, et M. C. Ziskin. 2004. «Millimeter-Wave-Induced Hypoalgesia in Mice: Dependence on Type of Experimental Pain». *IEEE Transactions on Plasma Science* 32 (4): 1634–43. <https://doi.org/10.1109/TPS.2004.830972>.
- Radzievsky, A. A., O. V. Gordiienko, S. Alekseev, I. Szabo, A. Cowan, et M. C. Ziskin. 2008. «Electromagnetic Millimeter Wave Induced Hypoalgesia: Frequency Dependence and Involvement of Endogenous Opioids». *Bioelectromagnetics* 29 (4): 284–95. <https://doi.org/10.1002/bem.20389>.
- Radzievsky, A. A., O. V. Gordiienko, I. Szabo, S. I. Alekseev, et M. C. Ziskin. 2004. «Millimeter Wave-Induced Suppression of B16 F10 Melanoma Growth in Mice: Involvement of Endogenous Opioids». *Bioelectromagnetics* 25 (6): 466–73. <https://doi.org/10.1002/bem.20018>.
- Radzievsky, Alexander A., Alan Cowan, Christopher Byrd, Alexander A. Radzievsky, et Marvin C. Ziskin. 2002. «Single Millimeter Wave Treatment Does Not Impair Gastrointestinal Transit in Mice». *Life Sciences* 71 (15): 1763–70. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(02\)01944-6](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(02)01944-6).
- Radzievsky, Alexander A., Mikhail A. Rojavin, Alan Cowan, Stanislav I. Alekseev, Alexander A. Radzievsky, et Marvin C. Ziskin. 2001. «Peripheral Neural System Involvement in Hypoalgesic Effect of Electromagnetic Millimeter Waves». *Life Sciences* 68 (10): 1143–51. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(00\)01016-X](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(00)01016-X).
- Radzievsky, Alexander A., Mikhail A. Rojavin, Alan Cowan, Stanislav I. Alekseev, et Marvin C. Ziskin. 2000. «Hypoalgesic Effect of Millimeter Waves in Mice: Dependence on the Site of Exposure». *Life Sciences* 66 (21): 2101–11. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(00\)00536-1](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(00)00536-1).
- Ragha, Lakshmappa, Seema Mishra, V. Ramachandran, et Manmohan Singh Bhatia. 2011. «Effects of Low-Power Microwave Fields on Seed Germination and Growth Rate». *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications* 03 (05): 165–71. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2011.35027>.
- Rai, P. S., H. J. Ball, S. O. Nelson, et L. E. Stetson Nelson. 1975. «Effects of Radiofrequency Electrical Treatment on Fecundity of *Tenebrio Molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae)1». *Annals of the Entomological Society of America* 68 (3): 542–44. <https://doi.org/10.1093/aesa/68.3.542>.
- Rai, P. S., H. J. Ball, S. O. Nelson, et L. E. Stetson. 1971. «Morphological Changes in Adult *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) Resulting from Radiofrequency or Heat Treatment of Larvae or Pupae1». *Annals of the Entomological Society of America* 64 (5): 1116–21. <https://doi.org/10.1093/aesa/64.5.1116>.
- . 1972. «Lethal Effects of Radiofrequency Energy on Eggs of *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)1». *Annals of the Entomological Society of America* 65 (4): 807–10. <https://doi.org/10.1093/aesa/65.4.807>.
- . 1974. «Cytopathological Effects of Radiofrequency Electric Fields on Reproductive Tissue of Adult *Tenebrio Molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)1». *Annals of the Entomological Society of America* 67 (4): 687–90. <https://doi.org/10.1093/aesa/67.4.687>.
- . 1977. «Spermatozoan Activity and Insemination in *Tenebrio Molitor* Following Radiofrequency Electrical Treatment (Coleoptera: Tenebrionidae)1». *Annals of the Entomological Society of America* 70 (2): 282–84. <https://doi.org/10.1093/aesa/70.2.282>.
- Rammal, Marwa, Fatima Jebai, Hassan Rammal, et Wissam H. Joumaa. 2014. «Effects of Long-Term Exposure to RF/MW Radiations on the Expression of mRNA of Stress Proteins in *Lycopersicon Esculentum*». 11: 5.
- Ramundo-Orlando, Alfonsina. 2010. «Effects of Millimeter Waves Radiation on Cell Membrane - A Brief Review». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 31 (12): 1400–1411. <https://doi.org/10.1007/s10762-010-9731-z>.
- Rashkovan, V. M., N. A. Khizhnyak, A. V. Basteev, L. A. Bazyma, Luis Niño de Rivera, et I. A. Ponomaryova. 2003. «Interaction of Electromagnetic Waves with Granular Agricultural Product and Insects». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 38 (4): 225–35. <https://doi.org/10.1080/08327823.2003.11688501>.

- Reddy, M. V. Bhaskara, A. C. Kushalappa, G. S. V. Raghavan, et M. M. P. Stephenson. 1995. «Use of Microwave Energy for the Eradication of Seedborne *Maporthe Phaseolorum* in Soybean and Its Effect on Seed Quality». *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 30 (4): 199–204. <https://doi.org/10.1080/08327823.1995.11688277>.
- Reddy, M. V. Bhaskara, G. S. V. Raghavan, A. C. Kushalappa, et T. C. Paulitz. 1998. «Effect of Microwave Treatment on Quality of Wheat Seeds Infected With *Fusarium Graminearum*». *Journal of Agricultural Engineering Research* 71 (2): 113–17. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0305>.
- Ren, Guixing, et Feng Chen. 1998. «Drying of American Ginseng (*Panax QuinquefoZium*) Roots by Microwave-Hot Air Combination», janvier, 11.
- Repacholi, Michael H. 1997. «Radiofrequency Field Exposure and Cancer: What Do the Laboratory Studies Suggest?» *Environmental Health Perspectives* 105: 4.
- Repacholi, Michael H. 1998. «Low-Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Need». *Bioelectromagnetics* 19 (1): 1–19. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1998\)19:1<1::AID-BEM1>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-186X(1998)19:1<1::AID-BEM1>3.0.CO;2-5).
- Repacholi, Michael H., Alexander Lerchl, Martin Rössli, Zenon Sienkiewicz, Anssi Auvinen, Jürgen Breckenkamp, Guglielmo d'Inzeo, et al. 2012. «Systematic Review of Wireless Phone Use and Brain Cancer and Other Head Tumors». *Bioelectromagnetics* 33 (3): 187–206. <https://doi.org/10.1002/bem.20716>.
- Ribeiro-Oliveira, João Paulo. 2019. «Electromagnetism and Plant Development: A New Unknown in a Known World». *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00163-9>.
- Richardson, A. W., T. D. Duane, et H. M. Hines. 1951. «EXPERIMENTAL CATARACT PRODUCED BY THREE CENTIMETER PULSED MICROWAVE IRRADIATIONS». *A.M.A. Archives of Ophthalmology* 45 (4): 382–86. <https://doi.org/10.1001/archoph.1951.01700010390004>.
- Riley, J.R. 1985. «Radar Cross Section of Insects». *Proceedings of the IEEE* 73 (2): 228–32. <https://doi.org/10.1109/PROC.1985.13135>.
- Riminesi, Cristiano, et Roberto Olmi. 2016. «LOCALIZED MICROWAVE HEATING FOR CONTROLLING BIODETERIOGENS ON CULTURAL HERITAGE ASSETS». *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSERVATION SCIENCE*, 14.
- Ritz, Thorsten, Peter Thalau, John B. Phillips, Roswitha Wiltschko, et Wolfgang Wiltschko. 2004. «Resonance Effects Indicate a Radical-Pair Mechanism for Avian Magnetic Compass». *Nature* 429 (6988): 177–80. <https://doi.org/10.1038/nature02534>.
- Rocher, C., M. Ruelloux, M. Himdi, J. P. Moulinoux, G. Dubost, et A. Bellossi. 2000. «Biological Effects of Millimeter Wave Irradiation on Mice-Preliminary Results». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 48 (11): 2104–10. <https://doi.org/10.1109/22.884201>.
- Rojavin, M. 1998. «Medical Application of Millimetre Waves». *QJM* 91 (1): 57–66. <https://doi.org/10.1093/qjmed/91.1.57>.
- Rojavin, M. A., A. A. Radzievsky, A. Cowan, et M. C. Ziskin. 2000. «Pain Relief Caused by Millimeter Waves in Mice: Results of Cold Water Tail Ick Tests». *International Journal of Radiation Biology*, 5.
- Rojavin, M. A., et M. C. Ziskin. 1997. «Electromagnetic Millimeter Waves Increase the Duration of Anaesthesia Caused by Ketamine and Chloral Hydrate in Mice». *International Journal of Radiation Biology* 72 (4): 475–80. <https://doi.org/10.1080/095530097143248>.
- Rojavin, Mikhail A., Alan Cowan, Alexander A. Radzievsky, et Marvin C. Ziskin. 1998. «Antipruritic Effect of Millimeter Waves in Mice: Evidence for Opioid Involvement». *Life Sciences* 63 (18): PL251–57. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(98\)00436-6](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(98)00436-6).
- Rojavin, Mikhail A., Alexander Y. Tsygankov, et Marvin C. Ziskin. 1997. «In Vivo Effects of Millimeter Waves on Cellular Immunity of Cyclophosphamide-Treated Mice». *Electro- and Magnetobiology* 16 (3): 281–92. <https://doi.org/10.3109/15368379709015659>.
- Romanenko, S., A. R. Harvey, L. Hool, R. Begley, S. Fan, et V. P. Wallace. 2018. «Millimetre Wave Radiation Activates Leech Nociceptors via TRPV1-like Receptor Sensitisation». *BioRxiv Preprint*, novembre. <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/480665>.
- Romanenko, Sergii, Ryan Begley, Alan R. Harvey, Livia Hool, et Vincent P. Wallace. 2017. «The Interaction between Electromagnetic Fields at Megahertz, Gigahertz and Terahertz Frequencies with Cells,

- Tissues and Organisms: Risks and Potential». *Journal of The Royal Society Interface* 14 (137): 20170585. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0585>.
- Romanenko, Sergii, Peter H. Siegel, Daniel A. Wagenaar, et Victor Pikov. 2013. «Comparison of the Effects of Millimeter Wave Irradiation, General Bath Heating, and Localized Heating on Neuronal Activity in the Leech Ganglion». In *SPIE BiOS*, édité par Gerald J. Wilmink et Bennett L. Ibey, 85850N. San Francisco, Californie, États-Unis. <https://doi.org/10.1117/12.2006504>.
- . 2014. «Effects of Millimeter Wave Irradiation and Equivalent Thermal Heating on the Activity of Individual Neurons in the Leech Ganglion». *Journal of Neurophysiology* 112 (10): 2423–31. <https://doi.org/10.1152/jn.00357.2014>.
- Röösl, Martin, Patrizia Frei, John Bolte, Georg Neubauer, Elisabeth Cardis, Maria Feychting, Peter Gajsek, et al. 2010. «Conduct of a Personal Radiofrequency Electromagnetic Field Measurement Study: Proposed Study Protocol». *Environmental Health: A Global Access Science Source* 9 (mai): 23. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-23>.
- Roux, David, Catherine Faure, Pierre Bonnet, Sébastien Girard, Gérard Ledoigt, Eric Davies, Michel Gendraud, Françoise Paladian, et Alain Vian. 2008. «A Possible Role for Extra-Cellular ATP in Plant Responses to High Frequency, Low Amplitude Electromagnetic Field». *Plant Signaling & Behavior* 3 (6): 383–85. <https://doi.org/10.4161/psb.3.6.5385>.
- Roux, David, Alain Vian, Sébastien Girard, Pierre Bonnet, Françoise Paladian, Eric Davies, et Gérard Ledoigt. 2006. «Electromagnetic Fields (900 MHz) Evoke Consistent Molecular Responses in Tomato Plants». *Physiologia Plantarum* 128 (2): 283–88. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00740.x>.
- . 2008. «High Frequency (900 MHz) Low Amplitude (5 V M⁻¹) Electromagnetic Field: A Genuine Environmental Stimulus That Affects Transcription, Translation, Calcium and Energy Charge in Tomato». *Planta* 227 (4): 883–91. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0664-2>.
- Rowell, C., et E. Y. Lam. 2012. «Mobile-Phone Antenna Design». *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 54 (4): 14–34. <https://doi.org/10.1109/MAP.2012.6309152>.
- Ruiz-Garcia, Luis, Loredana Lunadei, Pilar Barreiro, et Ignacio Robla. 2009. «A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends». *Sensors* 9 (6): 4728–50. <https://doi.org/10.3390/s90604728>.
- Ryan, Kathy L., John A D'Andrea, et James R. Jauchem. 1999. «RADIO FREQUENCY RADIATION OF MILLIMETER WAVE LENGTH: POTENTIAL OCCUPATIONAL SAFETY ISSUES RELATING TO SURFACE HEATING». *Health Physics* 78 (2): 12.
- Ryan, Kathy L., Melvin R. Frei, Rick E. Berger, et James R. Jauchem. 1996. «DOES NITRIC OXIDE MEDIATE CIRCULATORY FAILURE INDUCED BY 35-GHz MICROWAVE HEATING?». *Shock* 6 (1): 71–76.
- Ryan, Kathy L., Melvin R. Frei, et James R. Jauchem. 1997. «CIRCULATORY FAILURE INDUCED BY 35 GHz MICROWAVE HEATING: EFFECTS OF CHRONIC NITRIC OXIDE SYNTHESIS INHIBITION». *Shock* 7 (1): 70–76.
- Ryan, Kathy L., Thomas J. Walters, Maria R. Tehrany, Julie D. Lovelace, et James R. Jauchem. 1997. «AGE DOES NOT AFFECT THERMAL AND CARDIORESPIRATORY RESPONSES TO MICROWAVE HEATING IN CALORICALLY RESTRICTED RATS». *Shock* 8 (1): 55–60.
- S. O. Nelson et L. E. Stetson. 1982. «Germination Response of Sweetclover Seed to 39-MHz Electrical Treatments». *Transactions of the ASAE* 25 (5): 1412–17. <https://doi.org/10.13031/2013.33737>.
- S. O. Nelson, L. E. Stetson, et W. W. Wolf. 1984. «Long-Term Effects of RF Dielectric Heating on Germination of Alfalfa Seed». *Transactions of the ASAE* 27 (1): 255–58. <https://doi.org/10.13031/2013.32771>.
- S. O. Nelson, L. A. T. Ballard, L. E. Stetson, et T. Buchwald. 1976. «Increasing Legume Seed Germination by VHF and Microwave Dielectric Heating». *Transactions of the ASAE* 19 (2): 0369–71. <https://doi.org/10.13031/2013.36030>.
- Safronova, Valentina G., A. G. Gabdoulkhakova, et B. F. Santalov. 2002. «Immunomodulating Action of Low Intensity Millimeter Waves on Primed Neutrophils». *Bioelectromagnetics* 23 (8): 599–606. <https://doi.org/10.1002/bem.10056>.
- Sagar, Sanjay, Seid M. Adem, Benjamin Struchen, Sarah P. Loughran, Michael E. Brunjes, Lisa Arangua, Mohamed Aqiel Dalvie, et al. 2018. «Comparison of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Levels in Different Everyday Microenvironments in an International Context». *Environment International* 114 (mai): 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.036>.

- Sagar, Sanjay, Benjamin Struchen, Viktoria Finta, Marloes Eeftens, et Martin Röösl. 2016. «Use of Portable Exposimeters to Monitor Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure in the Everyday Environment». *Environmental Research* 150 (octobre): 289–98. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.020>.
- Sagioglou, Niki E., Areti K. Manta, Ioannis K. Giannarakis, Aikaterini S. Skouroliakou, et Lukas H. Margaritis. 2016. «Apoptotic Cell Death during *Drosophila* Oogenesis Is Differentially Increased by Electromagnetic Radiation Depending on Modulation, Intensity and Duration of Exposure». *Electromagnetic Biology and Medicine* 35 (1): 40–53. <https://doi.org/10.3109/15368378.2014.971959>.
- Samsonov, Andrey, et Sergey V. Popov. 2013. «The Effect of a 94 GHz Electromagnetic Field on Neuronal Microtubules». *Bioelectromagnetics* 34 (2): 133–44. <https://doi.org/10.1002/bem.21760>.
- Sandu, Dumitru D., I. C. Goiceanu, A. Ispas, Ionela Creanga, Simona G. Miclaus, et Dorina Emilia Creanga. 2005. «A Preliminary Study on Ultra High Frequency Electromagnetic Fields Effect on Black Locust Chlorophylls». *Acta Biologica Hungarica*. <https://doi.org/10.1556/ABiol.56.2005.1-2.11>.
- Santesteban, Luis G., Inés Palacios, Carlos Miranda, Juan C. Iriarte, José B. Royo, et Ramón Gonzalo. 2015. «Terahertz Time Domain Spectroscopy Allows Contactless Monitoring of Grapevine Water Status». *Frontiers in Plant Science* 6 (juin). <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00404>.
- Sasaki, K, Y. Isimura, K. Fujii, K. Wake, S. Watanabe, M. Kojima, R. Suga, et O. Hashimoto. 2015. «Dielectric Property Measurement of Ocular Tissues up to 110 GHz Using 1 Mm Coaxial Sensor». *Physics in Medicine and Biology* 60 (16): 6273–88. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/60/16/6273>.
- Sasaki, Kensuke, Taiji Sakai, Tomoaki Nagaoka, Kanako Wake, Soichi Watanabe, Masami Kojima, Nailia Hasanova, et al. 2014. «Dosimetry Using a Localized Exposure System in the Millimeter-Wave Band for in Vivo Studies on Ocular Effects». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 62 (7): 1554–64. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2014.2323011>.
- Sawada, Yohei, Hiroyuki Tsutsui, et Toshio Koike. 2017. «Ground Truth of Passive Microwave Radiative Transfer on Vegetated Land Surfaces». *Remote Sensing* 9 (7): 655. <https://doi.org/10.3390/rs9070655>.
- Scarfi, M. R., M. B. Lioi, G. D'ambrosio, R. Massa, O. Zeni, R. Di Pietro, et D. Di Berardino. 1996. «Genotoxic Effects of Mitomycin-C and Microwave Radiation on Bovine Lymphocytes». *Electro- and Magnetobiology* 15 (2): 99–107. <https://doi.org/10.3109/15368379609009826>.
- CSRSSEN, Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux. 2015. *Opinion on Potential Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields (EMF)*. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2772/75635>.
- Schmutz, P, J. Siegenthaler, C. Stager, D. Tarjan, et J. Bucher. 1996. «Long-Term Exposure of Young Spruce and Beech Trees to 2450-MHz Microwave Radiation». *Science of The Total Environment* 180 (1): 43–48. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04918-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04918-5).
- Schwarze, Susanne, Nils-Lasse Schneider, Thomas Reichl, David Dreyer, Nele Lefeldt, Svenja Engels, Neville Baker, P. J. Hore, et Henrik Mouritsen. 2016. «Weak Broadband Electromagnetic Fields Are More Disruptive to Magnetic Compass Orientation in a Night-Migratory Songbird (*Erithacus Rubecula*) than Strong Narrow-Band Fields». *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 10 (mars). <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00055>.
- Scialabba, Anna, et Carmelo Tamburello. 2002. «Microwave Effects on Germination and Growth of Radish (*Raphanus Sativus* L.) Seedlings». *Acta Botanica Gallica* 149 (2): 113–23. <https://doi.org/10.1080/12538078.2002.10515947>.
- Seaman, R. L., et H. Wachtel. 1978. «Slow and Rapid Response to CW and Pulsed Microwave Radiation by Individual *Aplysia* Pacemakers». *Journal of Microwave Power* 13 (1): 77–86. <https://doi.org/10.1080/16070658.1978.11689079>.
- Selga, Türs, et Maija Selga. 1996. «Response of *Pinus Sylvestris* L. Needles to Electromagnetic Fields. Cytological and Ultrastructural Aspects». In [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04921-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04921-5).
- Senavirathna, M. D. H. J., et T. Asaeda. 2014. «Radio-Frequency Electromagnetic Radiation Alters the Electric Potential of *Myriophyllum Aquaticum*». *Biologia Plantarum* 58 (2): 355–62. <https://doi.org/10.1007/s10535-013-0384-3>.
- Senavirathna, Mudalige Don Hiranya Jayasanka, Takashi Asaeda, Bodhipaksha Lalith Sanjaya Thilakarathne, et Hirofumi Kadono. 2014. «Nanometer-Scale

- Elongation Rate Fluctuations in the *Myriophyllum Aquaticum* (Parrot Feather) Stem Were Altered by Radio-Frequency Electromagnetic Radiation». *Plant Signaling & Behavior* 9 (4): e28590. <https://doi.org/10.4161/psb.28590>.
- Senavirathna, Mudalige Don Hiranya Jayasanka, Asaeda Takashi, et Yuichi Kimura. 2014. «Short-Duration Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Radiation Alters the Chlorophyll Fluorescence of Duckweeds (*Lemna Minor*)». *Electromagnetic Biology and Medicine* 33 (4): 327–34. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.844705>.
- Shackelford, Robert Gaither. 1967. «Studies to Determine the Electromagnetic Spectrum Effect on Arthropods». Rapport technique. Georgia Institute of Technology. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/48645>.
- Shanin, S.N. 2005. «Natural Killer Cell Cytotoxic Activity and C-Fos Protein Synthesis in Rat Hypothalamic cells after Painful Electric Stimulation of the Hind Limbs and EHF Irradiation of the Skin». *Medical Science Monitor*. <https://www.medscimonit.com/download/index/idArt/428441>.
- Shapiro, Mikhail G., Michael F. Priest, Peter H. Siegel, et Francisco Bezanilla. 2013. «Thermal Mechanisms of Millimeter Wave Stimulation of Excitable Cells». *Biophysical Journal* 104 (12): 2622–28. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2013.05.014>.
- Sharma, Sapna, et Leena Parihar. 2014. «Effect of Mobile Phone Radiation on Nodule Formation In the Leguminous Plants». *Current World Environment Journal* 9 (1): 145–55. <https://doi.org/10.12944/CWE.9.1.21>.
- Sharma, Ved Parkash, et Neelima R. Kumar. 2010. «Changes in Honeybee Behaviour and Biology under the Influence of Cellphone Radiations». *CURRENT SCIENCE* 98 (10): 3.
- Sharma, Ved Parkash, Harminder Pal Singh, Daizy Rani Batish, et Ravinder Kumar Kohli. 2010. «Cell Phone Radiations Affect Early Growth of *Vigna Radiata* (Mung Bean) through Biochemical Alterations». *Zeitschrift Für Naturforschung C* 65 (1–2): 66–72. <https://doi.org/10.1515/znc-2010-1-212>.
- Sharma, Ved Parkash, Harminder Pal Singh, et Ravinder Kumar Kohli. 2009. «EFFECT OF MOBILE PHONE EMF ON BIOCHEMICAL CHANGES IN EMERGING SEEDLINGS OF *PHASEOLUS AUREUS* ROXB», janvier, 5.
- Sharma, Ved Parkash, Harminder Pal Singh, Ravinder Kumar Kohli, et Daizy Rani Batish. 2009. «Mobile Phone Radiation Inhibits *Vigna Radiata* (Mung Bean) Root Growth by Inducing Oxidative Stress». *Science of The Total Environment* 407 (21): 5543–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.006>.
- Shayesteh, N., et N. N. Barthakur. 1996. «Mortality and Behaviour of Two Stored-Product Insect Species during Microwave Irradiation». *Journal of Stored Products Research* 32 (3): 239–46. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(96\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00016-1).
- Sheridan, Eleanor, Jacquelyn Randolet, Travis DeVault, Thomas W. Seamans, Bradley F. Blackwell, et Esteban Fernández-Juricic. 2015. «The Effects of Radar on Avian Behavior: Implications for Wildlife Management at Airports». *Applied Animal Behaviour Science*. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.08.001>.
- Shikhantsov, Sergei, Arno Thielens, Günter Vermeeren, Piet Demeester, Luc Martens, Guy Torfs, et Wout Joseph. 2020. «Massive MIMO Propagation Modeling With User-Induced Coupling Effects Using Ray-Tracing and FDTD». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 38 (9): 1955–63. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2020.3000874>.
- Shrestha, Bijay, Daeung Yu, et Oon-Doo Baik. 2013. «ELIMINATION OF *CRYPTOLESTES FERRUNGINEUS* S. IN WHEAT BY RADIO FREQUENCY DIELECTRIC HEATING AT DIFFERENT MOISTURE CONTENTS». *Progress In Electromagnetics Research* 139: 22.
- Siegel, P. H., et V. Pikov. 2010. «Impact of Low Intensity Millimetre Waves on Cell Functions». *Electronics Letters* 46 (26): 570. <https://doi.org/10.1049/el.2010.8442>.
- Sienkiewicz, Zenon, Nancy Jones, et Anna Bottomley. 2005. «Neurobehavioural Effects of Electromagnetic Fields». *Bioelectromagnetics* 26 (S7): S116–26. <https://doi.org/10.1002/bem.20141>.
- Singh, Anushikha, Neha Singh, Tanu Jindal, Alfredo Rosado-Muñoz, et Malay Kishore Dutta. 2020. «A Novel Pilot Study of Automatic Identification of EMF Radiation Effect on Brain Using Computer Vision and Machine Learning». *Biomedical Signal Processing and Control* 57 (mars): 101821. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101821>.

- Singh, Harminder Pal, Ved Parkash Sharma, Daizy Rani Batish, et Ravinder Kumar Kohli. 2012. «Cell Phone Electromagnetic Field Radiations Affect Rhizogenesis through Impairment of Biochemical Processes». *Environmental Monitoring and Assessment* 184 (4): 1813–21. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2080-0>.
- Sivachenko, I. B., D. S. Medvedev, I. D. Molodtsova, S. S. Panteleev, A. Yu. Sokolov, et O. A. Lyubashina. 2016. «Effects of Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation on the Experimental Model of Migraine». *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* 160 (4): 425–28. <https://doi.org/10.1007/s10517-016-3187-7>.
- Skiles, J. W. 2006. «Plant Response to Microwaves at 2.45GHz». *Acta Astronautica* 58 (5): 258–63. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2005.12.007>.
- Song, Zheyu, Shihan Yan, Ziyi Zang, Yun Fu, Dongshan Wei, Hong-Liang Cui, et Puxiang Lai. 2018. «Temporal and Spatial Variability of Water Status in Plant Leaves by Terahertz Imaging». *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* 8 (5): 520–27. <https://doi.org/10.1109/TTHZ.2018.2851922>.
- Soproni, Vasile Darie, Simina Maria Vicas, Teodor Leuca, Mircea N. Arion, Francisc Ioan Hathazi, et Carmen Otilia Molnar. 2012. «HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD MODELING AND EXPERIMENTAL VALIDATION OF THE MICROWAVE DRYING OF WHEAT SEEDS». *Progress In Electromagnetics Research B* 41: 419–39. <https://doi.org/10.2528/PIERB12040902>.
- Soran, Maria-Loredana, Manuela Stan, Ülo Niinemets, et Lucian Copolovici. 2014. «Influence of Microwave Frequency Electromagnetic Radiation on Terpene Emission and Content in Aromatic Plants». *Journal of Plant Physiology* 171 (15): 1436–43. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.013>.
- Stefi, Aikaterina L., Lukas H. Margaritis, et Nikolaos S. Christodoulakis. 2017. «The Effect of the Non-ionizing Radiation on Exposed, Laboratory Cultivated Maize (Zea Mays L.) Plants». *Flora* 233 (août): 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.008>.
- Stefi, Aikaterina L., Konstantina Mitsigiorgi, Dido Vassilacopoulou, et Nikolaos S. Christodoulakis. 2020. «Response of Young Nerium Oleander Plants to Long-Term Non-Ionizing Radiation». *Planta* 251 (6): 108. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03405-2>.
- Stensaas, L. J., L. M. Partlow, L. G. Bush, P. L. Iversen, D. W. Hill, M. J. Hagmann, et O. P. Gandhi. 1981. «Effects of Millimeter-Wave Radiation on Monolayer Cell Cultures. II. Scanning and Transmission Electron Microscopy». *Bioelectromagnetics* 2 (2): 141–50. <https://doi.org/10.1002/bem.2250020205>.
- Stone, R. B., M. N. Christiansen, S. O. Nelson, J. C. Webb, J. L. Goodenough, et L. E. Stetson. 1973. «Induction of Germination of Impermeable Cottonseed by Electrical Treatment». *Crop Science* 13 (2): 159–61. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300020003x>.
- Stuart O. Nelson et LaVerne E. Stetson. 1985. «Germination Responses of Selected Plant Species to RF Electrical Seed Treatment». *Transactions of the ASAE* 28 (6): 2051–58. <https://doi.org/10.13031/2013.32564>.
- Sun, Shan, Igor Titushkin, Jeffrey Varner, et Michael Cho. 2012. «Millimeter Wave-Induced Modulation of Calcium Dynamics in an Engineered Skin Co-Culture Model: Role of Secreted ATP on Calcium Spiking». *Journal of Radiation Research* 53 (2): 159–67. <https://doi.org/10.1269/jrr.11037>.
- Sypniewska, Roza K., Nancy J. Millenbaugh, Johnathan L. Kiel, Robert V. Blystone, Heather N. Ringham, Patrick A. Mason, et Frank A. Witzmann. 2010. «Protein Changes in Macrophages Induced by Plasma from Rats Exposed to 35 GHz Millimeter Waves». *Bioelectromagnetics* 31 (8): 656–63. <https://doi.org/10.1002/bem.20598>.
- Tafforeau, M., M. C. Verdus, V. Norris, C. Ripoll, et M. Thellier. 2006. «Memory Processes in the Response of Plants to Environmental Signals». *Plant Signaling & Behavior* 1 (1): 9–14. <https://doi.org/10.4161/psb.1.1.2164>.
- Tafforeau, Marc, Marie-Claire Verdus, Vic Norris, Glenn J. White, Mike Cole, Maurice Demarty, Michel Thellier, et Camille Ripoll. 2004. «Plant Sensitivity to Low Intensity 105 GHz Electromagnetic Radiation». *Bioelectromagnetics* 25 (6): 403–7. <https://doi.org/10.1002/bem.10205>.
- Tafforeau, Marc, Marie-Claire Verdus, Vic Norris, Glenn J. White, Maurice Demarty, Michel Thellier, et Camille Ripoll. 2002. «SIMS STUDY OF THE CALCIUM-DEPRIVATION STEP RELATED TO

- EPIDERMAL MERISTEM PRODUCTION INDUCED IN FLAX BY COLD SHOCK OR RADIATION FROM A GSM TELEPHONE». <https://doi.org/10.1081/TMA-120015622>.
- Talei, Daryush, Alireza Valdiani, Mahmood Maziah, et Mohammad Mohsenkhah. 2013. «Germination Response of MR 219 Rice Variety to Different Exposure Times and Periods of 2450 MHz Microwave Frequency». *The Scientific World Journal* 2013: 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/408026>.
- Tanaka, F., P. Mallikarjunan, et Y.-C. Hung. 1999. «DIELECTRIC PROPERTIES OF SHRIMP RELATED TO MICROWAVE FREQUENCIES: FROM FROZEN TO COOKED STAGES». *Journal of Food Process Engineering* 22 (6): 455–68. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1999.tb00499.x>.
- Tanner, J. A. 1966. «Effect of Microwave Radiation on Birds». *Nature* 210 (5036): 636–636. <https://doi.org/10.1038/210636a0>.
- Tanner, J. A., et C. Romero-Sierra. 1974. «BENEFICIAL AND HARMFUL ACCELERATED GROWTH INDUCED BY THE ACTION OF NONIONIZING RADIATION». *Annals of the New York Academy of Sciences* 238 (1 Electrically): 171–75. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1974.tb26786.x>.
- Thielens, Arno, Duncan Bell, David B. Mortimore, Mark K. Greco, Luc Martens, et Wout Joseph. 2018. «Exposure of Insects to Radio-Frequency Electromagnetic Fields from 2 to 120 GHz». *Scientific Reports* 8 (1): 3924. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22271-3>.
- Thielens, Arno, Mark K. Greco, Leen Verloock, Luc Martens, et Wout Joseph. 2020. «Radio-Frequency Electromagnetic Field Exposure of Western Honey Bees». *Scientific Reports* 10 (1): 461. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56948-0>.
- Thielens, Arno, Matthias Van den Bossche, Christopher Brzozek, Chhavi Raj Bhatt, Michael J. Abramson, Geza Benke, Luc Martens, et Wout Joseph. 2018. «Representativeness and Repeatability of Microenvironmental Personal and Head Exposures to Radio-Frequency Electromagnetic Fields». *Environmental Research* 162 (avril): 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.12.017>.
- Thielens, Arno, Günter Vermeeren, Divya Kurup, Wout Joseph, et Luc Martens. 2013. «Compliance Boundaries for Multiple-Frequency Base Station Antennas in Three Directions: Compliance Boundaries for Multiple-Frequency BSAs». *Bioelectromagnetics* 34 (6): 465–78. <https://doi.org/10.1002/bem.21778>.
- Thors, Bjorn, Anders Furuskar, Davide Colombi, et Christer Tornevik. 2017. «Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO». *IEEE Access* 5: 19711–19. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2753459>.
- Titushkin, I. A., V. S. Rao, W. F. Pickard, E. G. Moros, G. Shafirstein, et M. R. Cho. 2009. «Altered Calcium Dynamics Mediates P19-Derived Neuron-Like Cell Responses to Millimeter-Wave Radiation». *Radiation Research* 172 (6): 725–36. <https://doi.org/10.1667/RR1760.1>.
- Tkalec, Mirta, Krešimir Malarić, Mirjana Pavlica, Branka Pevalek-Kozlina, et Željka Vidaković-Cifrek. 2009. «Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields on Seed Germination and Root Meristematic Cells of *Allium Cepa* L.». *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 672 (2): 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.09.022>.
- Tkalec, Mirta, Kresimir Malaric, et Branka Pevalek-Kozlina. 2005. «Influence of 400, 900, and 1900 MHz Electromagnetic Fields On Lemna Minor Growth and Peroxidase Activity». *Bioelectromagnetics* 26 (3): 185–93. <https://doi.org/10.1002/bem.20104>.
- . 2007. «Exposure to Radiofrequency Radiation Induces Oxidative Stress in Duckweed Lemna Minor L.». *The Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.052>.
- Tkalec, Mirta, Anamaria Štambuk, Maja Šrut, Krešimir Malarić, et Göran I. V. Klobučar. 2013. «Oxidative and Genotoxic Effects of 900MHz Electromagnetic Fields in the Earthworm *Eisenia Fetida*». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 90 (avril): 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.005>.
- Tomanova, K., et M. Vacha. 2016. «The Magnetic Orientation of the Antarctic Amphipod *Gondogeneia Antarctica* Is Cancelled by Very Weak Radiofrequency Fields». *The Journal of Experimental Biology* 219 (11): 1717–24. <https://doi.org/10.1242/jeb.132878>.
- Tong, Yeqing, Zhaohui Yang, Di Yang, Huikuan Chu, Min Qu, Guanlan Liu, Yan Wu, et Shenghong Liu. 2009. «Millimeter-Wave Exposure Promotes the Differentiation of Bone Marrow Stromal Cells

- into Cells with a Neural Phenotype». *Journal of Huazhong University of Science and Technology [Medical Sciences]* 29 (4): 409–12. <https://doi.org/10.1007/s11596-009-0403-y>.
- Torfs, Guy, Haolin Li, Sam Agneessens, Johan Bauwelinck, Laurens Breyne, Olivier Caytan, Wout Joseph, et al. 2018. «ATTO: Wireless Networking at Fiber Speed». *Journal of Lightwave Technology* 36 (8): 1468–77. <https://doi.org/10.1109/JLT.2017.2783038>.
- Torres, Víctor, Inés Palacios, Juan Carlos Iriarte, Iñigo Liberal, Luis G. Santesteban, Carlos Miranda, José B. Royo, et Ramón Gonzalo. 2016. «Monitoring Water Status of Grapevine by Means of THz Waves». *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* 37 (5): 507–13. <https://doi.org/10.1007/s10762-016-0269-6>.
- Tuton, Elin W., John H. Brower, Gary A. Brown, et Robert L. Kirkpatrick. 1972. «Combination of Gamma and Microwave Radiation for Control of the Angoumois Grain Moth in Wheat». *Journal of Economic Entomology* 65 (2): 531–33. <https://doi.org/10.1093/jee/65.2.531>.
- Urbiniello, Damiano, Anke Huss, Johan Beekhuizen, Roel Vermeulen, et Martin Röösl. 2014. «Use of Portable Exposure Meters for Comparing Mobile Phone Base Station Radiation in Different Types of Areas in the Cities of Basel and Amsterdam». *Science of The Total Environment* 468–469 (janvier): 1028–33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.012>.
- Urbiniello, Damiano, Wout Joseph, Anke Huss, Leen Verloock, Johan Beekhuizen, Roel Vermeulen, Luc Martens, et Martin Röösl. 2014. «Radio-Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) Exposure Levels in Different European Outdoor Urban Environments in Comparison with Regulatory Limits». *Environment International* 68 (juillet): 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.03.007>.
- Urech, Martin, Bernhard Eicher, et Jurg Siegenthaler. 1996. «Effects of Microwave and Radio Frequency Electromagnetic Fields on Lichens», janvier, 8.
- Ursache, M, G Mindru, D. E. Creangă, F. M. Tufescu, et C. Goiceanu. 2009. «THE EFFECTS OF HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES ON THE VEGETAL ORGANISMS», janvier, 15.
- Usichenko, Taras I., Hardy Edinger, Vasyl V. Gizhko, Christian Lehmann, Michael Wendt, et Frank Feyerherd. 2006. «Low-Intensity Electromagnetic Millimeter Waves for Pain Therapy». *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 3 (2): 201–7. <https://doi.org/10.1093/ecam/nel012>.
- Vacha, M., T. Puzova, et M. Kvalcova. 2009. «Radio Frequency Magnetic Fields Disrupt Magnetoreception in American Cockroach». *Journal of Experimental Biology* 212 (21): 3473–77. <https://doi.org/10.1242/jeb.028670>.
- Vadivambal, R., D. S. Jayas, et N. D. G. White. 2008. «Determination of Mortality of Different Life Stages of Tribolium Castaneum (Coleoptera: Tenebrionidae) in Stored Barley Using Microwaves». *JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY* 101 (3): 12.
- Vadivambal, R., D. S. Jayas, et N. D. G. White. 2007. «Wheat Disinfestation Using Microwave Energy». *Journal of Stored Products Research* 43 (4): 508–14. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.01.007>.
- Válková, T., et M. Vácha. 2012. «How Do Honeybees Use Their Magnetic Compass? Can They See the North?». *Bulletin of Entomological Research* 102 (4): 461–67. <https://doi.org/10.1017/S0007485311000824>.
- Vanbergen, Adam J., Simon G. Potts, Alain Vian, E. Pascal Malkemper, Juliette Young, et Thomas Tscheulin. 2019. «Risk to Pollinators from Anthropogenic Electro-Magnetic Radiation (EMR): Evidence and Knowledge Gaps». *Science of The Total Environment* 695 (décembre): 133833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133833>.
- Vargová, Blažena, Juraj Kurimský, Roman Cimbala, Michal Kostrec, Igor Majláth, Natália Pipová, Piotr Tryjanowski, Łukasz Jankowiak, et Viktória Majláthová. 2017. «Ticks and Radio-Frequency Signals: Behavioural Response of Ticks (Dermacentor Reticulatus) in a 900 MHz Electromagnetic Field». *Systematic and Applied Acarology*. <https://doi.org/10.11158/saa.22.5.7>.
- Vaughn, C. R. 1985. «Birds and Insects as Radar Targets: A Review». *Proceedings of the IEEE* 73 (2): 205–27. <https://doi.org/10.1109/PROC.1985.13134>.
- Vecchia, Paolo, ed. 2009. *Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (100 KHz - 300 GHz): Review of the Scientific Evidence on Dosimetry, Biological Effects, Epidemiological Observations, and Health Consequences Concerning Exposure to High Frequency Electromagnetic Fields (100 KHz - 300 GHz)*. CIPRNI 16. Oberschleißheim: CIPRNI.

- Vela, G. R., J. F. Wu, et Don Smith. 1976. «EFFECT OF 2450 MHz MICROWAVE RADIATION ON SOME SOIL MICROORGANISMS IN SITU». *Soil Science* 121 (1): 44–51.
- Velghe, Maarten, Sam Aerts, Luc Martens, Wout Joseph, et Arno Thielens. 2020. «Protocol for Personal RF-EMF Exposure Measurement Studies in 5th Generation Telecommunication Networks», juin. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-34590/v1>.
- Velghe, Maarten, Wout Joseph, Senne Debouvere, Reza Aminzadeh, Luc Martens, et Arno Thielens. 2019a. «Characterisation of Spatial and Temporal Variability of RF-EMF Exposure Levels in Urban Environments in Flanders, Belgium». *Environmental Research* 175 (août): 351–66. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.027>.
- . 2019b. «Characterisation of Spatial and Temporal Variability of RF-EMF Exposure Levels in Urban Environments in Flanders, Belgium». *Environmental Research* 175 (août): 351–66. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.027>.
- Vellidis, G., M. Tucker, C. Perry, C. Kvien, et C. Bednarz. 2008. «A Real-Time Wireless Smart Sensor Array for Scheduling Irrigation». *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (1): 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.009>.
- Venkatesh, M. S., et G. S. V. Raghavan. 2004. «An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-Food Materials». *Biosystems Engineering* 88 (1): 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007>.
- Vermeeren, Günter, Johan Bergs, Astrid Philippron, Luc Martens, et Wout Joseph. 2019. «RF EMF Exposure Sensing Network in a Smart-City Context». *Joint Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM 2019)*, janvier, 239–43.
- Vermeeren, Günter, Ioannis Markakis, Francis Goeminne, Theodoros Samaras, Luc Martens, et Wout Joseph. 2013. «Spatial and Temporal RF Electromagnetic Field Exposure of Children and Adults in Indoor Micro Environments in Belgium and Greece». *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 113 (2): 254–63. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2013.07.002>.
- Verschaeve, L., J. Juutilainen, I. Lagroye, J. Miyakoshi, R. Saunders, R. de Seze, T. Tenforde, E. van Rongen, B. Veyret, et Z. Xu. 2010. «In Vitro and in Vivo Genotoxicity of Radiofrequency Fields». *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 705 (3): 252–68. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2010.10.001>.
- Verschaeve, L, et A. Maes. 1998. «Genetic, Carcinogenic and Teratogenic Effects of Radiofrequency Fields», 25.
- Verschaeve, Luc. 2014. «Environmental Impact of Radiofrequency Fields from Mobile Phone Base Stations». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 44 (12): 1313–69. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.781935>.
- Vian, A., D. Roux, S. Girard, P. Bonnet, F. Paladian, E. Davies, et G. Ledoigt. 2006. «Microwave Irradiation Affects Gene Expression in Plants». *Plant Signaling & Behavior* 1 (2): 67–69. <https://doi.org/10.4161/psb.1.2.2434>.
- Vian, Alain, E. O. Davies, Michel Gendraud, et Pierre Ossian Bonnet. 2016. «Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields». In *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2016/1830262>.
- Vian, Alain, Catherine Faure, Sébastien Girard, Eric Davies, Francis Hallé, Pierre Bonnet, Gérard Ledoigt, et Françoise Paladian. 2007. «Plants Respond to GSM-Like Radiations». *Plant Signaling & Behavior* 2 (6): 522–24. <https://doi.org/10.4161/psb.2.6.4657>.
- Vijayalaxmi, et Thomas J. Prihoda. 2018. «Comprehensive Review of Quality of Publications and Meta-Analysis of Genetic Damage in Mammalian Cells Exposed to Non-Ionizing Radiofrequency Fields». *Radiation Research* 191 (1): 20. <https://doi.org/10.1667/RR15117.1>.
- Vijver, Martina G., John Bolte, Tracy R. Evans, Wil L. M. Tamis, Willie Peijnenburg, C. J. M. Musters, et Geert R. de Snoo. 2014. «Investigating Short-Term Exposure to Electromagnetic Fields on Reproductive Capacity of Invertebrates in the Field Situation». *Electromagnetic Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.783846>.
- Vilić, Marinko, Ivana Tlak Gajger, Perica Tucak, Anamaria Štambuk, Maja Šrut, Göran Klobučar, Krešimir Malarić, et al. 2017. «Effects of Short-Term Exposure to Mobile Phone Radiofrequency

- (900 MHz) on the Oxidative Response and Genotoxicity in Honey Bee Larvae». *Journal of Apicultural Research* 56 (4): 430–38. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1329798>.
- Viliche Balint, C., V. Surducan, E. Surducan, et I. G. Oroian. 2016. «Plant Irradiation Device in Microwave Field with Controlled Environment». *Computers and Electronics in Agriculture* 121 (février): 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.11.012>.
- Vornoli, Andrea, Laura Falcioni, Daniele Mandrioli, Luciano Bua, et Fiorella Belpoggi. 2019. «The Contribution of In Vivo Mammalian Studies to the Knowledge of Adverse Effects of Radiofrequency Radiation on Human Health». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (18): 3379. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183379>.
- Vorobyov, Vasily V., et Robert N. Khramov. 2002. «Hypothalamic Effects of Millimeter Wave Irradiation Depend on Location of Exposed Acupuncture Zones in Unanesthetized Rabbits». *The American Journal of Chinese Medicine* 30 (01): 29–35. <https://doi.org/10.1142/S0192415X0200003X>.
- Wachtel, Howard, Ronald Seaman, et William Joines. 1975. «EFFECTS OF LOW-INTENSITY MICROWAVES ON ISOLATED NEURONS». *Annals of the New York Academy of Sciences* 247 (1 Biologic Effe): 46–62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1975.tb35982.x>.
- Waldmann-Selsam, Cornelia, Alfonso Balmori-de la Puente, Helmut Breunig, et Alfonso Balmori. 2016. «Radiofrequency Radiation Injures Trees around Mobile Phone Base Stations». *Science of The Total Environment* 572 (décembre): 554–69. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.045>.
- Wang, J. Tang, R. P. Cavalieri, et D. C. Davis. 2003. «DIFFERENTIAL HEATING OF INSECTS IN DRIED NUTS AND FRUITS ASSOCIATED WITH RADIO FREQUENCY AND MICROWAVE TREATMENTS». *Transactions of the ASAE* 46 (4). <https://doi.org/10.13031/2013.13941>.
- Wang, Qi, Xiongwen Zhao, Shu Li, Mengjun Wang, Shaohui Sun, et Wei Hong. 2017. «Attenuation by a Human Body and Trees as Well as Material Penetration Loss in 26 and 39 GHz Millimeter Wave Bands». *International Journal of Antennas and Propagation* 2017: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/2961090>.
- Wang, S., J. N. Ikediala, J. Tang, et J. D. Hansen. 2002. «Thermal Death Kinetics and Heating Rate Effects for Fifth-Instar *Cydia Pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae)». *Journal of Stored Products Research* 38 (5): 441–53. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00047-9).
- Wang, S., J. N. Ikediala, J. Tang, J. D. Hansen, E. Mitcham, R. Mao, et B. Swanson. 2001. «Radio Frequency Treatments to Control Codling Moth in In-Shell Walnuts». *Postharvest Biology and Technology* 22 (1): 29–38. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00187-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00187-3).
- Wang, S., M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham, et J. Tang. 2007a. «Industrial-Scale Radio Frequency Treatments for Insect Control in Walnuts». *Postharvest Biology and Technology* 45 (2): 247–53. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.020>.
- . 2007b. «Industrial-Scale Radio Frequency Treatments for Insect Control in Walnuts». *Postharvest Biology and Technology* 45 (2): 240–46. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.023>.
- Wang, S., et J. Tang. 2001. «RADIO FREQUENCY AND MICROWAVE ALTERNATIVE TREATMENTS FOR INSECT CONTROL IN NUTS: A REVIEW». *Agricultural Engineering Journal*, 16.
- Wang, S., J. Tang, J. A. Johnson, et R. P. Cavalieri. 2013. «Heating Uniformity and Differential Heating of Insects in Almonds Associated with Radio Frequency Energy». *Journal of Stored Products Research* 55 (octobre): 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.06.003>.
- Wang, S., J. Tang, J. A. Johnson, E. Mitcham, J. D. Hansen, R. P. Cavalieri, J. Bower, et B. Biasi. 2002. «Process Protocols Based on Radio Frequency Energy to Control Field and Storage Pests in In-Shell Walnuts». *Postharvest Biology and Technology* 26 (3): 265–73. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00048-0).
- Wang, S., J. Tang, J. A. Johnson, E. Mitcham, J. D. Hansen, G. Hallman, S. R. Drake, et Y. Wang. 2003. «Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments». *Biosystems Engineering* 85 (2): 201–12. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00042-4).
- Wang, S., G. Tiwari, S. Jiao, J. A. Johnson, et J. Tang. 2010. «Developing Postharvest Disinfestation Treatments for Legumes Using Radio Frequency Energy». *Biosystems Engineering* 105 (3): 341–49. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.12.003>.
- Watters, F. L. 1976. «Microwave Radiation for Control of *Tribolium Confusum* in Wheat and Flour». *Journal of Stored Products Research* 12 (1): 19–25. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(76\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0022-474X(76)90018-7).

- Webber, H. H., R. P. Wagner, et A. G. Pearson. 1946. «High-Frequency Electric Fields as Lethal Agents for Insects». *Journal of Economic Entomology* 39 (4): 487–98. <https://doi.org/10.1093/jee/39.4.487>.
- Weisbrot, David, Hana Lin, Lin Ye, Martin Blank, et R. M. Goodman. 2003. «Effects of Mobile Phone Radiation on Reproduction and Development in *Drosophila Melanogaster*». *Journal of Cellular Biochemistry*. <https://doi.org/10.1002/jcb.10480>.
- Weisman, N. Ya., V. I. Fedorov, E. F. Nemova, et N. A. Nikolaev. 2014. «Survival and Life Span of *Drosophila Melanogaster* in Response to Terahertz Radiation». *Advances in Gerontology* 4 (3): 187–92. <https://doi.org/10.1134/S2079057014030102>.
- Westerdahl, Becky Brown, et Norman E. Gary. 1981. «Longevity and Food Consumption of Microwave-Treated (2.45 GHz Cw) Honeybees in the Laboratory». *Bioelectromagnetics* 2 (4): 305–14. <https://doi.org/10.1002/bem.2250020403>.
- White, Gary C., et Robert A. Garrott. 2012. *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Elsevier.
- Wu, Liu, Wu, Zhao, Chen, Lin, et Lin. 2009. «Experimental Study of Millimeter Wave-Induced Differentiation of Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells into Chondrocytes». *International Journal of Molecular Medicine* 23 (4). https://doi.org/10.3892/ijmm_00000152.
- Wu, Sferra, Chen, Chen, Wu, Xu, Peng, et Liu. 2011. «Millimeter Wave Treatment Inhibits the Mitochondrion-Dependent Apoptosis Pathway in Chondrocytes». *Molecular Medicine Reports*, juin. <https://doi.org/10.3892/mmr.2011.522>.
- Xia, Lu, Qing-Lu Luo, Hai-Dan Lin, Jin-Long Zhang, Hua Guo, et Cheng-Qi He. 2012. «The Effect of Different Treatment Time of Millimeter Wave on Chondrocyte Apoptosis, Caspase-3, Caspase-8, and MMP-13 Expression in Rabbit Surgically Induced Model of Knee Osteoarthritis». *Rheumatology International* 32 (9): 2847–56. <https://doi.org/10.1007/s00296-011-2080-y>.
- Yadav, Deep N., Tanupriya Anand, Monika Sharma, et R. K. Gupta. 2014. «Microwave Technology for Disinfestation of Cereals and Pulses: An Overview». *Journal of Food Science and Technology* 51 (12): 3568–76. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0912-8>.
- Yamaura, Itso, et Shiko Chichibu. 1967. «Super-High Frequency Electric Field and Crustacean Ganglionic Discharges». *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*. https://www.jstage.jst.go.jp/article/tjem1920/93/3/93_3_249/_article.
- Yu, Y, et K. Yao. 2010. «Non-Thermal Cellular Effects of Low-Power Microwave Radiation on the Lens and Lens Epithelial Cells». *Journal of International Medical Research* 38 (3): 729–36. <https://doi.org/10.1177/147323001003800301>.
- Zahid, Adnan, Hasan T. Abbas, Muhammad A. Imran, Khalid A. Qaraqe, Akram Alomainy, David R. S. Cumming, et Qammer H. Abbasi. 2019. «Characterization and Water Content Estimation Method of Living Plant Leaves Using Terahertz Waves». *Applied Sciences* 9 (14): 2781. <https://doi.org/10.3390/app9142781>.
- Zareh, Habibeh. 2015. «Electromagnetic Waves from GSM Mobile Phone Simulator Increase Germination and Abiotic Stress in *Zea Mays* L». *Journal of Nutrition & Food Sciences* 05 (04). <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000382>.
- Zhadobov, M., R. Sauleau, Y. Le Drean, S. I. Alekseev, et M. C. Ziskin. 2008. «Numerical and Experimental Millimeter-Wave Dosimetry for *In Vitro* Experiments». *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 56 (12): 2998–3007. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2008.2006797>.
- Zhadobov, Maxim, Stanislav I. Alekseev, Yves Le Dréan, Ronan Sauleau, et Evgeny E. Fesenko. 2015. «Millimeter Waves as a Source of Selective Heating of Skin: MMW as a Source of Selective Heating of Skin». *Bioelectromagnetics* 36 (6): 464–75. <https://doi.org/10.1002/bem.21929>.
- Zhao, Yicong, Shenghan Gao, Jia Zhu, Jiameng Li, Hang Xu, Kexin Xu, Huanyu Cheng, et Xian Huang. 2019. «Multifunctional Stretchable Sensors for Continuous Monitoring of Long-Term Leaf Physiology and Microclimate». *ACS Omega* 4 (5): 9522–30. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01035>.
- Ziskin, Marvin C., et Joseph Morrissey. 2011. «Thermal Thresholds for Teratogenicity, Reproduction, and Development». *International Journal of Hyperthermia* 27 (4): 374–87. <https://doi.org/10.3109/02656736.2011.553769>.

Les réseaux de télécommunication emploient des champs électromagnétiques de radiofréquences à des fins de communication sans fil. Ils ont évolué au fil du temps et plusieurs générations se sont succédé. La cinquième génération de réseaux de télécommunication opérera à des fréquences qui n'étaient précédemment pas utilisées par les générations antérieures, ce qui change donc l'exposition de la faune et de la flore à ces ondes. Le présent document passe en revue les connaissances scientifiques relatives à l'exposition de vertébrés, invertébrés et plantes aux champs électromagnétiques de radiofréquences en prévision de ce changement.

Il montre que le chauffage diélectrique peut se produire à toutes les fréquences examinées (0,4-300 GHz) et chez tous les organismes étudiés. La présente analyse, qui synthétise et examine les résultats d'une série d'études de l'exposition de la faune et de la flore aux champs électromagnétiques de radiofréquences, montre que plusieurs de ces études sur les effets des champs électromagnétiques de radiofréquences aux bandes de fréquences examinées sur des invertébrés et des plantes font état de lacunes expérimentales. En outre, les recherches sur l'exposition des invertébrés et des plantes aux champs électromagnétiques de radiofréquences supérieures à 6 GHz sont très peu nombreuses. Davantage d'études sont nécessaires dans ce domaine.

Ceci est une publication de l'unité de la prospective scientifique (STOA)
EPRS | Service de recherche du Parlement européen

Ce document a été préparé à l'attention des Membres et du personnel du Parlement européen comme documentation de référence pour les aider dans leur travail parlementaire. Le contenu du document est de la seule responsabilité de l'auteur et les avis qui y sont exprimés ne reflètent pas nécessairement la position officielle du Parlement.



ISBN 978-92-848-0796-3 | doi: 10.2861/45179 | QA-05-21-112-FR-N