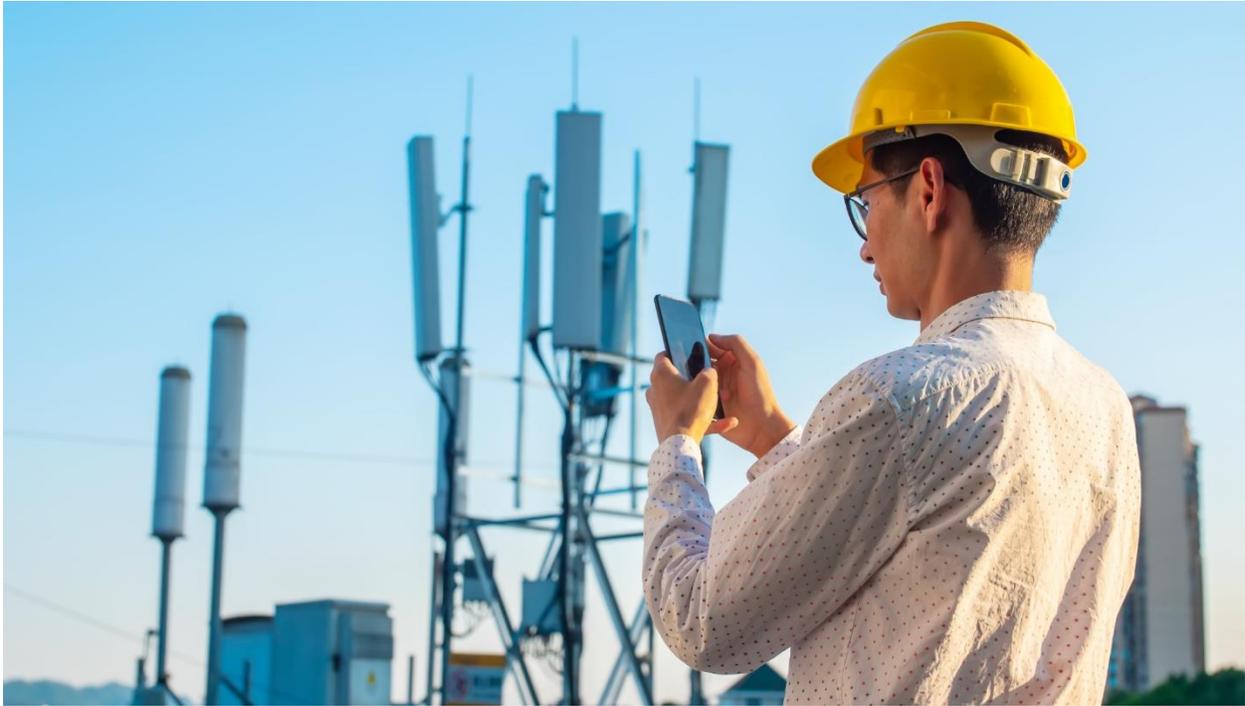


## PLEINS FEUX SUR

# Les effets sur la santé des champs électromagnétiques de radiofréquences, y compris la 5G



Publication : 1<sup>re</sup> révision, novembre 2023

## Principales conclusions

- Les champs électromagnétiques (CEM) de radiofréquences (RF) représentent un type de rayonnement non ionisant comprenant plusieurs applications technologiques. Pendant des décennies, les RF ont été utilisées à des fins comme les signaux de télécommunication et le chauffage aux micro-ondes.
- Les lignes directrices de Santé Canada, représentées par le Code de sécurité 6, fixent les limites recommandées d'exposition humaine aux RF. Le Code de sécurité 6, qui est tiré des études scientifiques évaluées par des pairs, vise à protéger l'ensemble du public contre tout effet négatif éventuel de l'exposition aux RF.
- À l'heure actuelle, il n'existe aucun élément de preuve suggérant des effets néfastes sur la santé humaine résultant de l'exposition aux RF en dessous de la limite canadienne (Code de sécurité 6). Il existe une relation dose-réponse claire pour les effets aigus sur la santé de

l'exposition aux RF environ 50 fois plus élevée que la limite prévue dans le Code de sécurité 6, ce qui ne devrait pas se produire dans le contexte communautaire.

- Avec la technologie 5G envisagée et l'utilisation élargie de la technologie sans fil, l'exposition aux RF peut augmenter, mais devrait se situer en dessous des limites du Code de sécurité 6. À l'instar des RF, il n'existe aucun élément de preuve tangible des effets néfastes sur la santé humaine de la technologie 5G. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour clarifier certaines conclusions qui, à l'heure actuelle, n'appuient pas systématiquement les effets cliniques.

## Introduction

L'énergie radiofréquence (RF) produit des champs électromagnétiques (CEM), un type de rayonnement non ionisant. La gamme de RF (3kHz-300GHz) du spectre électromagnétique (EM) est utilisée dans le cadre des télécommunications. Le déploiement de la technologie mobile 5G (5<sup>e</sup> génération) utilise davantage de fréquences dans la gamme de RF et permettra probablement d'accroître le nombre de sources de transmission. Les sources émettrices libèrent des radiofréquences auxquelles le public peut être exposé. Les limites d'exposition aux RF sont recommandées par Santé Canada et définies dans le Code de sécurité 6 pour la protection contre les effets néfastes possibles sur la santé de l'exposition aux RF. Le but de ce rapport est de fournir un résumé de la documentation disponible basée sur des analyses récemment réalisées sur les effets des RF sur la santé, en accordant une importance particulière aux nouvelles fréquences qui peuvent être utilisées dans les technologies 5G. Il ne s'agit pas d'un examen détaillé des études individuelles, mais plutôt d'un aperçu général des résumés pertinents visant à fournir les principales conclusions de la documentation disponible.

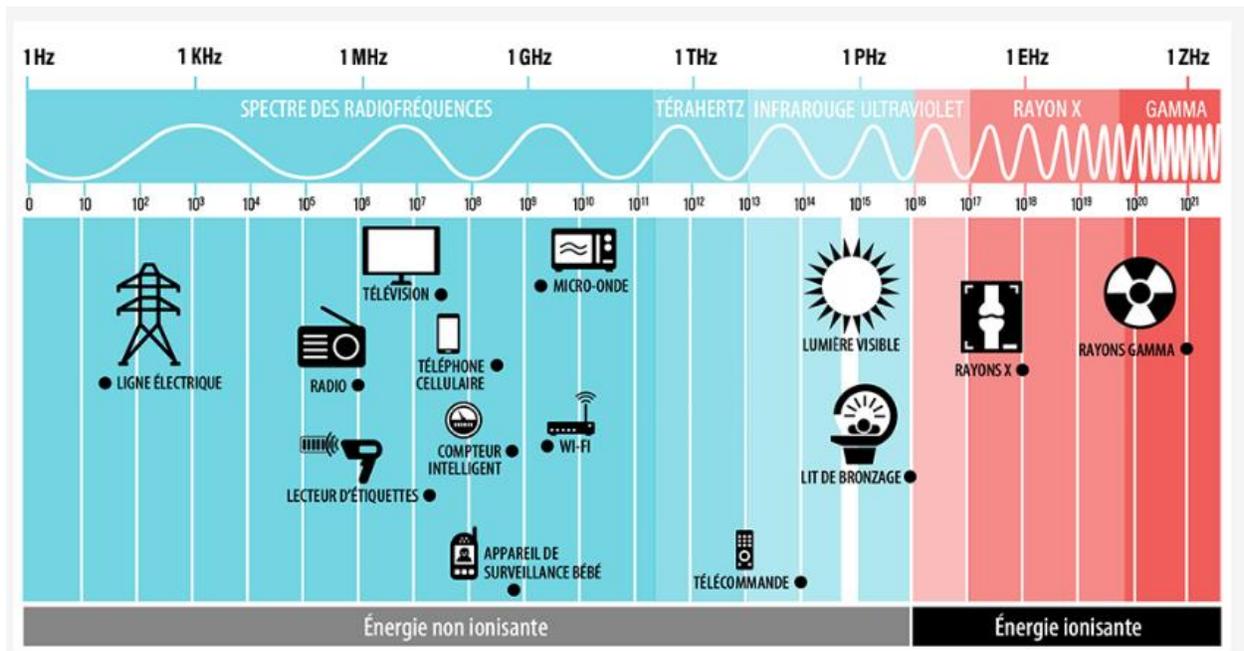
## Contexte

Le terme **rayonnement** désigne l'énergie qui traverse des ondes ou des particules; la quantité d'énergie présente est en partie déterminée par la fréquence de l'onde, le hertz (Hz, ou nombre d'ondes par seconde) représentant l'unité de mesure de base. La gamme de fréquences désigne le spectre de rayonnement électromagnétique (EM), qui est subdivisé en catégories (voir figure 1). Les basses fréquences (avec de plus grandes longueurs d'onde) sont généralement classées comme non ionisantes. Lorsque la fréquence augmente, le rayonnement devient ionisant, ce qui signifie qu'il y a une présence d'énergie suffisante pour déloger les électrons des atomes. L'exposition à l'énergie ionisante augmente le risque de dommages à l'acide désoxyribonucléique (ADN), associé au risque accru de développer un cancer. Des exemples de sources de rayonnement ionisant sont celles qui se produisent de façon naturelle (le radon contenu dans le sol et la roche) ou provenant de sources anthropiques (telles que les rayons X ou les retombées nucléaires).

Les rayonnements non ionisants couvrent un large spectre de fréquences énergétiques, y compris les RF. La RF fait partie du spectre EM et s'échelonne entre 3 kHz et 300 GHz. Les RF sont à la fois naturellement présentes et générées par les activités humaines, et sont utilisées dans de nombreuses applications de communication à l'échelle mondiale depuis plusieurs décennies. Des exemples comprennent la télévision et la radio, le Wi-Fi, les téléphones portables, les téléphones sans fil, les compteurs intelligents et la communication par satellite. Les fours à micro-ondes utilisent également les RF pour réchauffer les objets.

Bien que les réseaux de télécommunications existants et prévus (y compris la 5G) fonctionnent dans le spectre EM, des bandes de fréquences plus élevées seront utilisées lors du déploiement de la technologie 5G, ce qui permettra d'augmenter la capacité des données mobiles, de réduire le temps de latence et l'« Internet des objets » qui fait référence aux appareils qui utilisent les données de manière autonome (p. ex. les véhicules autonomes). La 5G tirera davantage parti des fréquences RF de 6000 MHz (6 GHz) à environ 30 GHz, voire plus, dans les limites de ce que l'on a appelé la gamme « bande millimétrique » ou « onde millimétrique » (MMB ou MMW) (qui s'étend jusqu'à 300 GHz)<sup>1,2</sup>. Toutes ces applications émettent normalement de l'énergie RF à des niveaux conformes à la réglementation et inférieurs à ceux pouvant entraîner des effets sur la santé.

**Figure 1 : Spectre des radiofréquences**



Source : Gouvernement du Canada. L'énergie radiofréquence et la sécurité [Internet]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2019 [modifié le 13 mai 2020; cité le 16 août 2022]. Qu'est-ce que l'énergie radiofréquence (RF)? La reproduction est une copie de la version disponible à : <https://ised-isde.canada.ca/site/gestion-spectre-telecommunications/fr/securete-conformite/faits-sujet-pylones/lenergie-radiofrequence-securite#s1>. Utilisé avec autorisation.

L'exposition potentielle aux RF (et à d'autres formes de rayonnement) est inversement proportionnelle à la distance de la source (baisse significative de l'exposition lorsque la distance de la source augmente). De nombreuses autres variables sont également applicables, notamment la puissance d'émission de la source, la présence et la densité des objets dans la trajectoire et la direction d'émission. Par conséquent, la simple existence d'énergie RF n'entraîne pas nécessairement une exposition substantielle.

Bien que la RF ne puisse pas déloger un électron, elle peut tout de même provoquer des vibrations au niveau de l'atome, ce qui correspond à la façon dont elle est en mesure de réchauffer des objets dans les fréquences plus élevées (au-dessus de 100 kHz). Cette fonction est mise en pratique dans des technologies telles que le four à micro-ondes<sup>1</sup>. Cet effet a également été observé dans la bande millimétrique<sup>3</sup>. Lorsque les fréquences sont plus basses (inférieures à 10 MHz), des expositions

élevées (par exemple, supérieures à 50 fois la limite fixée dans le Code de sécurité 6) peuvent entraîner dans la stimulation nerveuse (provoquant une sensation de picotement)<sup>1</sup>. Cette capacité à causer le réchauffement ou une stimulation nerveuse se produit de manière prévisible à des fréquences appropriées avec une amplitude (force) adéquate. Ces effets sur la santé sont utilisés pour l'établissement de limites d'exposition en appliquant un facteur de sécurité.

## Règlement régissant l'exposition aux RF-CEM

Au Canada, les limites recommandées d'exposition humaine sont fixées par Santé Canada dans le Code de sécurité 6 (CS6). Ces limites, dont la dernière mise à jour date de 2015, sont comparables à des réglementations ou à des recommandations similaires dans d'autres pays, tels que les États-Unis (É.-U.)<sup>1,4</sup>. Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) réglemente les appareils sans fil et l'infrastructure connexe en vertu de la *Loi sur la radiocommunication* et exige la conformité aux limites fixées dans le CS6. Le CS6 applique une approche du poids de la preuve dans l'évaluation de la documentation scientifique examinée par des pairs afin d'établir les doses minimales avec effet nocif observé (DMENO) et applique généralement un facteur de sécurité de 10 (établit la limite 10 fois inférieure à la DMENO) pour les limites dans des « milieux contrôlés » (cadres professionnels/non publics), et un facteur de 50 pour les « milieux non contrôlés » (pour l'exposition du corps entier au sein du public)<sup>1,4,5</sup>. À titre de comparaison, les directives de la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) fournissent des limites permises légèrement plus élevées que le CS6.1

Les limites d'exposition aux RF changent en fonction de la fréquence. Lorsqu'il s'agit de basses fréquences (inférieures à 10 MHz), des limites d'intensité de champ sont utilisées pour se protéger contre la stimulation nerveuse<sup>4</sup>. Le débit d'absorption spécifique (DAS), qui représente la puissance absorbée (en Watts ou W) par unité de masse (kg), est utilisé pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 6 GHz afin d'assurer la protection contre le réchauffement des tissus, et fourni sous forme de moyenne de corps complet ou d'unité de mesure localisée<sup>4</sup>. Les limites des DAS sont basées sur les effets observés en laboratoire du réchauffement des tissus chez les primates non humains et d'autres animaux, ce qui se produit au-dessus de 4 W/kg d'exposition du corps entier<sup>4</sup>. Étant donné la très faible pénétration des tissus de CEM dans la gamme MMW, la métrique d'exposition pour les fréquences > 6 GHz est la densité de puissance incidente (W/m<sup>2</sup>)<sup>4</sup>.

La dose d'énergie reçue par le corps est utilisée dans l'estimation des effets des RF sur la santé. Cela est tributaire de la partie du corps exposée, en raison des différences de thermorégulation entre les tissus. D'une manière générale, les effets sur la santé peuvent généralement être classés en effets aigus ou chroniques sur la santé, ainsi qu'en effets axés sur les systèmes (p. ex. cardiaques, oculaires, reproductifs).

## Méthodes

Ce rapport est basé sur un aperçu des examens publiés les plus récents, ainsi qu'un examen des principaux travaux publiés après la dernière révision disponible.

Les règlements et examens disponibles les plus récents comprenaient des examens de l'Organisation mondiale de la santé, du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), de divers gouvernements, de commissions (notamment le groupe d'experts de la Société royale du Canada de 2014), des organismes de santé (le British Columbia Center for Disease Control et l'Institut national de santé publique du Québec), ainsi que d'autres groupes (le BioInitiative Working Group à partir de 2012).

Cette documentation a été examinée et les références ont également été prises en compte en vue de leur inclusion.

Le référentiel en ligne de la recherche relative aux CEM, emf-portal.org, a été consulté pour obtenir les titres appropriés.

Un examen de cadrage de la documentation pour les nouvelles publications a ensuite été réalisé par le biais de MEDLINE, Scopus et Inspec. Termes de recherche combinés (« cem » ou « rf » ou « radiofréquence » ou « champ électromagnétique » ou « ondes radio » ou « 5 g » ou « Wi-Fi ») et (« santé » ou « effets sur la santé » ou « effets néfastes sur la santé » ou « maladie »), limités aux publications et méta-analyses humaines en anglais de 2010 au moment de la rédaction (décembre 2020). Cette recherche a produit 672 résultats, dont 38 étaient pertinents. Une recherche MEDLINE supplémentaire pour les termes CEM et cancérogénicité a été effectuée, en utilisant les termes de recherche « champs électromagnétiques » ou « CEM » ou radiofréquence ou RF ou « rayonnement non ionisant » ET cancer.mp. ou exp tumeurs, limitée à la langue anglaise et aux humains, à partir de 2013 jusqu'à présent, et à une méta-analyse ou « examen systématique » qui a produit 162 citations, dont 7 étaient pertinentes.

De plus, les services de bibliothèque de Santé publique Ontario (SPO) ont mené une recherche MEDLINE supplémentaire plus approfondie, qui a produit deux articles plus pertinents. Les Services de bibliothèque ont également effectué une deuxième recherche documentaire parallèle, identifiant 81 articles, dont 15 ont été considérés comme pertinents pour faire partie de l'étude. Une recherche dans Google Scholar a également été effectuée à l'aide de termes de recherche tels que « 5G » « ondes millimétriques », « CEM », « champ électromagnétique » et « effets sur la santé », et des articles pertinents ont été examinés à partir des 5 premières pages de résultats. La méthodologie de recherche dans la bibliothèque de SPO est disponible sur demande à l'adresse [library@oahpp.ca](mailto:library@oahpp.ca).

L'analyse des titres a permis d'identifier les examens et les études clés à grande échelle, dont les résumés ont ensuite été examinés pour en déterminer la pertinence. Les articles ont ensuite été sélectionnés pour examen s'ils avaient été publiés dans des revues scientifiques avec comité de lecture et avaient été publiés après 2010. Les listes des lectures de référence des articles sélectionnés ont également fait l'objet d'une recherche manuelle d'articles et de rapports pertinents.

## Résultats

### Effets sur la santé de l'exposition aux RF

La recherche portant sur les effets des RF-EMF sur la santé demeure un centre d'intérêt scientifique continu<sup>6</sup>. De manière générale, les études examinent soit l'exposition aux RF, comme les doses estimées de RF établies selon divers scénarios (généralement des études expérimentales en laboratoire), soit les effets de l'exposition aux RF (études expérimentales ou d'observation).

### Recherche sur l'exposition

Les études de recherche sur l'exposition tiennent compte de la densité de puissance RF ( $W/m^2$ ), de la fréquence et de la durée de l'exposition, et de la distance de la source par rapport aux effets sur la santé<sup>7</sup>. De nombreuses études récentes se concentrent sur les RF liés aux téléphones portables compte tenu de l'expansion considérable de cette forme de télécommunications au cours des dernières décennies.

Avec l'intégration prochaine des fréquences 5G, la question de savoir dans quelle mesure l'exposition individuelle aux RF peut changer présente un intérêt. Un examen systématique de la documentation mené en Europe a compilé les données de mesure des CEM dans les microenvironnements quotidiens, notamment les ménages, les écoles et les bureaux de 2005 à 2013 en vue de faire une estimation des doses typiques pour le public<sup>8</sup>. Cet examen a permis de constater que les expositions typiques étaient bien inférieures aux limites réglementaires ou recommandées et que les expositions les plus élevées étaient causées par la transmission sens montant (observée dans les trains de banlieue)<sup>8</sup>. La liaison montante désigne les champs électromagnétiques émis à partir d'un téléphone mobile lors d'une utilisation normale, et non vers le téléphone à partir de réseaux de transmission. Un examen systématique mise à jour a été réalisée et comprenait des mesures jusqu'en 2018, en utilisant une méthodologie similaire. Les auteurs ont constaté qu'en dépit de l'utilisation accrue de la technologie sans fil depuis 2012, les niveaux moyens dans les microenvironnements typiques se situaient bien en deçà des limites réglementaires ou recommandées et n'avaient pas augmenté par rapport aux mesures précédentes. Ce fait a été attribué à l'efficacité accrue des appareils et de la transmission des données<sup>9</sup>. Aucune étude similaire examinant les expositions au Canada n'a été identifiée.

Une étude récente de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) examine les possibilités de variation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques avec la 5G. Cette étude souligne que l'exposition nette aux CEM pour le grand public peut être partiellement réduite en raison d'une approche plus « ciblée » (« formation de faisceau »), visant les signaux vers un utilisateur précis tout en communiquant avec son appareil, et n'émet pas de CEM lorsqu'il n'est pas en service<sup>10</sup>.

Pour la majorité de la population, il existe de nombreuses sources d'exposition aux champs électromagnétiques (par exemple, les lignes électriques, les signaux radio, la lumière visible, le champ magnétique terrestre, les appareils électriques), mais il en découle des modes de vie actuels que les téléphones portables, qui doivent respecter les limites réglementaires ou recommandées en matière de RF, représentent une source potentiellement significative d'exposition aux RF. Comme il est indiqué dans les études ci-dessus, pour les personnes qui utilisent des téléphones portables, la source d'exposition la plus élevée aux champs électromagnétiques associés à ces appareils provient de la transmission sens montant<sup>10</sup>.

## Recherche sur les résultats

Les termes utilisés pour décrire les effets d'une exposition varient et reflètent les nombreux types d'études. L'effet biologique est habituellement destiné à décrire tout changement, positif ou négatif, qui se produit sur un tissu ou une cellule (comme c'est le cas dans une boîte de Pétri dans un laboratoire). En revanche, l'effet sur la santé humaine (ou simplement les « effets sur la santé », aux fins de la discussion), représente tout changement, positif ou négatif, observé chez une personne. Bien que les deux effets soient utiles pour mieux comprendre les rapports entre l'exposition et les effets, la cohérence des preuves dans le spectre complet des études biologiques à la santé humaine est nécessaire pour tirer des conclusions sur les expositions dans le monde réel. Bien que les effets aigus sur la santé des expositions à fortes doses (comme le réchauffement ou les picotements résultant d'expositions plusieurs fois supérieures aux limites réglementaires ou recommandées) aient été bien décrits, les études examinant les effets chroniques possibles sur la santé humaine de l'exposition aux RF comportent des résultats variables. Alors que certaines études de laboratoire démontrent divers degrés d'effets biologiques de l'exposition aux CEM, la pertinence pour la santé humaine est moins évidente.

À partir des ouvrages scientifiques disponibles, divers comités internationaux et groupes d'experts, y compris l'Organisation mondiale de la santé (OMS), Santé Canada et les organismes provinciaux,

conviennent tous que les effets néfastes établis sur la santé associés à l'exposition aux RF sont le réchauffement des tissus et la stimulation des nerfs périphériques après une exposition à de fortes concentrations (par exemple, plus de 50 fois supérieures à la limite pour le grand public)<sup>10-14,15,5,16,17</sup>. Santé Canada, l'OMS, le Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN) de la Commission européenne, la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) et la United States Federal Drug Administration ont tous déclaré que les expositions communautaires typiques aux CEM (par exemple en raison d'une utilisation de téléphones portables ou des tours de téléphonie cellulaire, comprenant les fréquences 5G) ne devraient pas avoir d'effets néfastes sur la santé, relevant que les preuves sont les plus solides concernant les fréquences actuellement utilisées<sup>12,18-21</sup>.

La seule exception à cette opinion est le rapport du BioInitiative Working Group de 2007, mis à jour en 2012 (et 2014/17) émanant d'un groupe de chercheurs d'universités et d'institutions publiques et privées<sup>22</sup>. Ce rapport non examiné par des pairs, qui ne comporte pas une méthodologie claire d'analyse, aboutit à des conclusions différentes de celles d'autres groupes scientifiques, en déclarant que « les effets biologiques peuvent raisonnablement être présumés entraîner des effets néfastes sur la santé si les expositions sont prolongées ou chroniques » et, par conséquent, une limite réglementaire ou recommandée nettement inférieure devrait être fixée (par exemple, par rapport du Code de sécurité 6 et autres limites semblables<sup>22</sup>). D'aucuns ont relevé que les rapports du BioInitiative Working Group ne tiennent pas compte des problèmes méthodologiques dans certaines des études citées et n'incluent pas la plupart des études pertinentes sur le cancer in vivo<sup>23, 24</sup>.

Un aperçu des études sur les effets néfastes potentiels sur la santé selon la classe d'organe et l'exposition aux RF se trouve à l'annexe A. Il est basé sur les plus récents examens complets du poids de la preuve par le groupe d'experts de la Société royale du Canada (SRC) en 2014, l'examen du CSRSEN en 2015, ainsi qu'un examen de 2018 sur la 5G (qui n'utilise pas d'approche fondée sur le poids de la preuve) mené par Di Ciaula<sup>23, 13, 25</sup>. Les examens fondés sur le poids de la preuve utilisent une approche systématique qui tient compte du type et de la qualité des preuves dans la synthèse d'études hétérogènes sur un sujet donné<sup>26</sup>. Les principaux travaux pertinents publiés depuis 2015 sont également cités.

## **EFFETS AIGUS SUR LA SANTÉ ASSOCIÉS À L'EXPOSITION AUX RF**

Les effets aigus sur la santé bien connus de l'exposition aux RF ont trait aux propriétés potentielles de réchauffement des tissus (à des fréquences plus élevées entre 100 kHz et 300 GHz) et aux effets de stimulation nerveuse (à des fréquences plus basses situées entre 3 kHz et 10 MHz) reproduits dans des études expérimentales. L'exposition aux RF d'une intensité et d'une durée suffisantes dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 10 MHz modifie les potentiels de membrane au repos des tissus nerveux, entraînant ainsi une dépolarisation et des effets sensoriels ultérieurs<sup>4</sup>. Le réchauffement des tissus a également été bien caractérisé dans des études expérimentales sur des primates non humains et chez des volontaires humains dans divers scénarios d'exposition<sup>4</sup>. Lorsque les expositions aux RF comprennent des fréquences entre 100 kHz et 300 GHz, une intensité et une durée suffisantes chaufferont les tissus d'une manière spécifique aux tissus (le changement de température d'environ un degré Celsius dans l'organisme étant considéré un seuil pertinent<sup>4</sup>). Ces seuils constituent la base des limites recommandées contenues dans le CS6<sup>4,5</sup>.

## **EFFETS CHRONIQUES SUR LA SANTÉ ASSOCIÉS À L'EXPOSITION AUX RF**

Bien qu'il existe probablement une exposition généralisée aux RF dans la population, le caractère observationnel de la recherche épidémiologique relative aux effets à long terme sur la santé complique

l'établissement du lien de causalité lorsqu'aucun résultat évident (par exemple, une incidence accrue de certains cancers) n'a été observé. Les effets sur la santé qui ont été étudiés comprennent la cancérrogénicité et l'hypersensibilité électromagnétique (HSE) ainsi que les effets oculaires, cardiaques, reproductifs, neurologiques et sur le développement. Dans l'ensemble, la documentation est la plus vaste en ce qui concerne la cancérrogénicité, avec des examens plus complets réalisés sur les effets cancérogènes humains incorporant une bibliographie abondante (études mécanistes, animales, humaines). Cette section mettra l'accent sur la cancérrogénicité et l'HSE. Les effets sur des systèmes particuliers pour lesquels la recherche est plus limitée sont résumés à l'[annexe A](#); cependant, les preuves n'appuient pas systématiquement la pertinence clinique des résultats.

## CANCÉROGÉNÉCITÉ

Les preuves concernant la possibilité que l'exposition aux CEM puisse causer le cancer demeurent imprécises malgré un large éventail d'études, y compris des études mécanistes, animales et observationnelles humaines. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a déterminé que les RF faisaient partie du groupe 2B (peut-être cancérogène pour l'homme) dans la monographie de 2011 basée sur des études observationnelles sur l'homme des années 1990, examinant l'utilisation du téléphone portable et le risque éventuellement accru de certains cancers (gliomes, neurinomes de l'acoustique et tumeurs du lobe temporal<sup>27,28</sup>). Cependant, des études de validation ont depuis relevé des sources potentielles d'erreurs systématiques; des études similaires n'ont pas observé de risque accru et les tendances actuelles de l'incidence des tumeurs cérébrales n'ont pas changé de manière significative au cours des 2 dernières décennies, ce qui ne va pas dans le sens d'un lien de causalité évident<sup>23,29,30</sup>. Le rapport de la SRC n'a pas non plus établi un lien avec le cancer dans les études de cohorte professionnelles qui impliquent généralement des expositions plus élevées par rapport au grand public<sup>23</sup>. Depuis la publication du rapport de la SRC :

- Plusieurs examens systématiques et méta-analyses récemment réalisés sur l'utilisation du téléphone portable et le cancer n'ont pas constaté des liens statistiquement significatifs, bien que dans l'un des rapports, un risque accru de cancer dans le sous-groupe d'exposition le plus élevé ait été révélé et les études d'un groupe de recherche (Hardell et ses collègues) ont pu constater systématiquement des liens avec le cancer<sup>28,31-33</sup>. Un examen systématique sur l'utilisation du téléphone portable et les tumeurs de la glande parotide a révélé l'existence d'un lien positif, mais les auteurs mettent en garde contre une interprétation de ces résultats en raison du nombre limité et de la conception rétrospective des études utilisées<sup>34</sup>.
- Une récente étude animale réalisée à grande échelle sur 2 ans par le National Toxicology Program (NTP) des É.-U. a exposé des rats et des souris aux RF des fréquences de la technologie 2G/3G (les souris à 1900 MHz et les rats à 900 MHz), et a observé une incidence légèrement accrue d'un cancer rare (le schwannome malin du cœur) chez les rats mâles<sup>35,36</sup>. La pertinence pour les humains demeure incertaine étant donné que les doses administrées au cours de l'expérience étaient beaucoup plus élevées (75 fois) que les limites du Code de sécurité 6, et que les animaux exposés à l'étude vivaient plus longtemps que ceux qui n'étaient pas exposés<sup>35,36</sup>. Cette étude a été incluse dans un récent rapport de l'USFDA sur les RF et le cancer pour la période 2008 à 2018, qui a conclu qu'« il n'existe pas de lien de causalité quantifiable entre l'exposition aux RRF [rayonnements radiofréquences] et la formation de tumeurs<sup>37</sup> ». La CIPRNI a également examiné ces résultats et a conclu dans le même sens que l'USFDA<sup>38</sup>.

Pour plus de détails sur les champs électromagnétiques et le cancer, veuillez consulter l'[annexe A](#).

## HYPERSENSIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Dans les communautés du monde entier, une proportion de la population (2 à 13 %) présente des symptômes physiques attribués à l'exposition aux RF à des niveaux inférieurs aux normes réglementaires ou recommandées, bien que les critères varient de manière significative<sup>23</sup>. Cette hypersensibilité a été qualifiée d'hypersensibilité électromagnétique (CEM ou HSE), d'électrosensibilité, et elle est appelée « intolérance environnementale idiopathique attribuée aux CME » (IEI-EMF) dans le rapport d'atelier 2004 de l'OMS<sup>39</sup>. Les symptômes signalés attribués aux CEM comprennent des troubles neurocognitifs (étourdissements, fatigue, maux de tête, acouphènes, troubles du sommeil, problèmes de concentration), la transpiration, des douleurs musculaires et articulaires, des brûlures oculaires, des problèmes d'oreille, de nez et de gorge ainsi que des problèmes gastro-intestinaux<sup>40</sup>. Étant donné que ces symptômes ne s'appliquent pas exclusivement à l'HSE et peuvent être présents dans d'autres syndromes et maladies, ils sont également décrits dans les ouvrages comme des « symptômes physiques médicalement inexpliqués » (SPMI)<sup>41</sup>. Les critères proposés pour identifier l'HSE comprennent la sensibilité aux CEM déclarée volontairement, les symptômes physiques qui apparaissent dans un délai relativement trop court après l'exposition (< 24 h) et qui sont attribués aux CEM, et l'absence de diagnostic qui pourrait expliquer les symptômes<sup>42</sup>. Une plage de fréquence précise n'a pas été attribuée aux symptômes, et les fréquences de 50 Hz à 300 GHz ont été visées, incluant les fréquences proposées dans la technologie 5G<sup>43</sup>.

Le rapport de la SRC a examiné les études établissant une corrélation entre les symptômes et les CEM mesurables dans des contextes contrôlés, y compris les tests de provocation en double aveugle, dont la majorité n'ont démontré aucun symptôme reproductible à la suite d'une exposition mesurée aux CEM<sup>23</sup>. La SRC a conclu que « ...les recherches au cours des dix dernières années ne fournissent pas de preuves solides concernant les hypothèses selon lesquelles les personnes atteintes d'IEI-CEM peuvent percevoir l'énergie RF à des niveaux inférieurs aux limites du CS6 ou qu'il existe un lien de cause à effet entre l'exposition à l'énergie RF et les symptômes », ce qui correspond au rapport complet de 2004 de l'OMS<sup>23,39</sup>.

## Études sur la 5G/les ondes millimétriques (MMW) et applications thérapeutiques

Étant donné que la technologie 5G devrait utiliser davantage les fréquences plus élevées dans la gamme des RF, en particulier > 25 GHz et dans la gamme MMW, ainsi qu'une augmentation prévue de la densité d'émetteurs en vue de la propagation des fréquences, des études portant sur ces fréquences ont été évaluées afin de déterminer si des risques précis pour la santé liés à l'exposition ont été identifiés. Étant donné que les MMW ne pénètrent pas profondément dans les tissus, les principales préoccupations sont basées sur les effets cutanés et oculaires<sup>44</sup>.

Di Ciaula a examiné les recherches sur les effets des MMW issues d'études in vitro et animales, dont bon nombre traitent des applications médicales potentielles des MMW à des intensités beaucoup plus élevées que les limites fixées par le CS6, telles que les modalités de réchauffement de la peau permettant de traiter les cancers de la peau<sup>25,45</sup>. Dans diverses études in vitro et animales dans lesquelles les doses d'exposition expérimentales étaient supérieures aux limites du CS6, d'autres effets possibles sur l'expression génétique, la perméabilité de la membrane cellulaire et le tissu nerveux ont également fait l'objet de discussions, mais l'application généralisée à la santé humaine n'est pas claire<sup>46-51</sup>. Les études citées concernant les champs électromagnétiques et les tissus neuraux n'ont généralement identifié aucun effet à des niveaux d'exposition inférieurs aux limites du CS6<sup>52-56</sup>. L'auteur

relève également certaines preuves contradictoires de lésions oculaires dans les études animales<sup>25</sup>. La pertinence de ces résultats en ce qui concerne les effets sur la santé humaine n'est pas traitée<sup>25</sup>.

Un examen récent d'études in vivo et in vitro sur les fréquences 5G (6-100 GHz) a pris en compte 94 publications pertinentes en fonction du type d'étude, du matériel biologique et du critère d'évaluation, des paramètres d'exposition et des critères de qualité<sup>57</sup>. L'examen a révélé que même si la plupart des études ont constaté certains effets, des études cohérentes basées sur la relation dose-réponse (c'est-à-dire densité de puissance ou durée et ampleur de l'effet) ou réplication n'ont pas eu lieu pour confirmer les résultats<sup>57</sup>. La plupart des études ont conclu que les effets « non thermiques » ont été mesurés, mais peu ont été considérées comme ayant réellement mesuré ou contrôlé la température d'une manière vérifiée afin de déterminer si le chauffage a pu se produire et brouiller les conclusions<sup>57</sup>. Les auteurs concluent qu'à l'heure actuelle, les renseignements sont insuffisants pour déterminer si des effets sur la santé humaine sont attendus de l'exposition aux champs électromagnétiques de fréquence 5G, et appellent à davantage de recherches. Des résultats similaires ont été résumés dans un récent examen systématique et une méta-analyse de 107 études expérimentales qui ont mis l'accent sur les effets biologiques des champs RF au-dessus de 6 GHz, à des niveaux inférieurs aux limites d'exposition en milieu de travail de la CIPRNI<sup>58</sup>. L'examen comprenait 31 études épidémiologiques sur l'exposition aux radars en milieu de travail (qui peut potentiellement comprendre des fréquences utilisées dans la 5G, allant jusqu'à 300 GHz), ainsi que certains rapports de suivi jusqu'à 40 ans après l'exposition, et qui n'ont pas identifié de risque accru d'effets nocifs sur la santé, y compris le cancer<sup>58</sup>.

Une autre façon d'évaluer les preuves relatives aux RF et aux effets sur la santé consiste à examiner les études médicales qui démontrent tout changement physiologique chez l'homme à des intensités inférieures aux limites du CS6, telles que les traitements médicaux. Par exemple, les CEM pulsés ont été étudiés comme traitement potentiel pour une variété de diagnostics. Bien que la gamme de fréquences utilisée soit généralement inférieure à la gamme RF (p. ex. 5 à 300 Hz), un certain chevauchement avec la gamme RF est observé dans quelques études<sup>59</sup>. Un examen systématique réalisé en 2012 a identifié 11 essais qui tentaient d'évaluer l'efficacité des CEM pulsés pour diverses maladies, et a révélé qu'en raison de la petite taille des échantillons (12-71 sujets), des résultats incohérents et du manque de confirmation indépendante des effets positifs, il n'existe pas de preuves suffisantes pour affirmer que les CEM pulsés pour tout le corps offrent un effet thérapeutique<sup>59</sup>. D'autres examens systématiques ont révélé que les champs électromagnétiques pulsés ou d'autres modalités qui comprennent de manière variable des fréquences à l'intérieur et en dehors de la plage RF, et certaines qui utilisent des intensités supérieures aux limites du CS6, disposaient d'une efficacité incertaine ou nulle pour le traitement de l'arthrose du genou, de la capsulite rétractile, de la cervicalgie ou de la maladie de la coiffe des rotateurs<sup>60-66</sup>.

## Discussion

Bien que les preuves des effets aigus sur la santé tels que la neurostimulation et le réchauffement des tissus soient évidentes et mesurables, les études sur les effets chroniques ne sont pas probantes. À ce moment, aucune preuve cohérente ne permet d'affirmer que l'exposition typique aux RF dans la communauté est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé humaine. La pertinence clinique des effets biologiques observés dans des modèles animaux ou de tissu demeure incertaine. Ces études expérimentales fournissent des hypothèses pour une étude ultérieure, mais l'Organisation mondiale de la santé fait également remarquer qu'un « effet biologique » n'est pas équivalent à un « risque pour la santé »<sup>67</sup>. Alors que la recherche se poursuit, les personnes qui cherchent toujours à réduire leur

exposition personnelle pourraient entreprendre certaines stratégies fournies par le Centre de contrôle des maladies de la Colombie-Britannique et Santé Canada<sup>68, 18</sup>.

## Conclusion

Avec l'utilisation étendue de la technologie sans fil, les expositions aux RF peuvent augmenter, mais devraient demeurer en dessous des limites réglementaires ou recommandées. Pour les expositions aux RF inférieures aux recommandations du CS6, les publications n'ont pas démontré que les fréquences actuellement utilisées et celles proposées pour la technologie 5G comme avaient des effets néfastes sur la santé humaine. Les études examinant les effets biologiques des bandes de RF nouvelles/étendues à utiliser, telles que les MMW ou la 5G, n'ont jusqu'à présent pas démontré des risques réels pour la santé humaine dans des conditions d'exposition typiques ou attendues pour le grand public. Un supplément de recherche est nécessaire pour clarifier la pertinence clinique de certains résultats.

# Annexe A : Résumé des preuves par classe d'organe

## Cancérogénicité

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a déterminé que les RF faisaient partie du groupe 2B (peut-être cancérigène pour l'homme) dans la monographie de 2011 sur la base de plusieurs études épidémiologiques fondées sur l'utilisation de téléphones portables plutôt que sur des sources RF environnementales telles que des antennes de réseau cellulaire ou des tours de radio FM<sup>27</sup>. L'examen de la SRC fournit un aperçu de l'approche du CIRC et une mise à jour des données probantes relatives à cette désignation<sup>23</sup>. L'évaluation du CIRC s'est appuyée sur les études épidémiologiques INTERPHONE à grande échelle ainsi que sur les études cas-témoins de Hardell et ses collègues, qui ont toutes pris en compte les cas d'utilisation du téléphone portable déclarée volontairement (généralement de la fin des années 1990 et du début des années 2000) pour l'estimation de l'exposition<sup>28</sup>. Ces études cas-témoins (qui étaient chacune basées sur des cas ayant N≈1000-3000) ont révélé un risque accru de gliomes, de neurinomes acoustiques et de tumeurs du lobe temporal chez les personnes dont l'utilisation autodéclarée du téléphone portable est la plus élevée, mais des études de validation ont suggéré que ces résultats pouvaient comporter des erreurs systématiques potentielles et des biais susceptibles d'influencer le degré d'association<sup>23</sup>. Une étude à grande échelle des cohortes danoise (N = 420 095) n'a pas révélé une association, bien que des défauts méthodologiques similaires aient été constatés<sup>29</sup>. Le groupe de travail du CIRC a également tenu compte des conclusions écologiques selon lesquelles une augmentation des taux globaux de cancer parallèlement à l'utilisation accrue du téléphone cellulaire n'a pas été révélée, bien que le groupe reconnaisse que des conclusions ne peuvent pas être tirées en suivant une telle méthodologie<sup>23</sup>. Dans l'ensemble, les opinions étaient divergentes au sein du groupe de travail du CIRC sur la question de savoir si l'appellation 2B était justifiée (p. ex., « inadéquat » par rapport « éventuellement »), et certains organismes considèrent que la relation entre l'exposition aux RF et le cancer chez l'homme n'est pas décisive<sup>69,13,17</sup>.

Les études de cohortes professionnelles peuvent être utiles pour déterminer la cancérogénicité d'une exposition particulière, étant donné que ces groupes ont tendance à avoir des expositions plus élevées que le grand public et qui sont plus fréquemment mesurées et quantifiées objectivement. Cela peut servir de base pour l'estimation du risque pour les groupes non exposés dans un milieu professionnel. Dans le cas des RF, une telle association n'a pas été décelée dans les 8 études de cohorte examinées<sup>23</sup>.

Depuis la sortie du rapport de la SRC, quelques études pertinentes ont été publiées :

- Un examen systématique et une méta-analyse de 2020 portant sur l'utilisation du téléphone cellulaire et le cancer (tout type) ont inclus 46 études cas-témoins essentiellement de 1996 à 2005 (N = 66 075) et ont calculé un méta-RC de 0,99, ce qui n'indique aucun risque accru de cancer associé à (certains comparativement à aucun) l'utilisation du téléphone cellulaire<sup>31</sup>. Le terme « utilisation » n'était pas défini de manière cohérente, et aucune mention claire n'était faite des avancées technologiques telles que la technologie en mode « mains libres ». Cependant, dans l'analyse en sous-groupe, une augmentation statistiquement significative du risque de cancer a été observée dans le groupe d'exposition le plus élevé avec un OR de 1,6 (IC 1,12 à 2,30).<sup>31</sup> La variabilité entre les études était significative, et dans une analyse de sous-groupe effectuée par groupe de recherche, les études de Hardell et ses collègues représentaient le seul sous-groupe à pouvoir trouver systématiquement des relations positives<sup>31</sup>. Un certain chevauchement a eu lieu entre ce groupe de chercheurs et les autres, en ce qui concerne les données d'étude et les cohortes utilisées<sup>31</sup>.

- Une méta-analyse de 2019 de diverses études épidémiologiques évaluant l'utilisation des téléphones portables et le risque de tumeur cérébrale/des glandes salivaires a révélé qu'étant donné l'utilisation récente, brusque et généralisée des téléphones portables, les données fiables du registre du cancer dans de nombreux pays et le nombre relativement faible de facteurs de risque environnementaux concurrents par rapport aux tumeurs cérébrales, les preuves épidémiologiques des tumeurs cérébrales et des glandes salivaires résultant de l'exposition aux RF par le biais de l'utilisation du téléphone portable ne sont pas concluantes<sup>32</sup>. Les méta-RR calculés pour diverses tumeurs (gliome, méningiome, névrome, tumeurs hypophysaires et tumeurs salivaires) n'ont pas entraîné de risques accrus statistiquement significatifs, allant de 0,74 à 1,19<sup>32</sup>. Cependant, les auteurs reconnaissent que des sous-types de cancer plus rares ou à longue période de latence n'ont peut-être pas été identifiés<sup>32</sup>.
- Une méta-analyse de 2018 portant sur l'utilisation du téléphone portable et le risque de gliome n'a pas trouvé de lien statistiquement significatif dans les dix études évaluées<sup>33</sup>.
- Un examen systématique de 2017 portant sur l'utilisation du téléphone portable et les tumeurs de la glande parotide a identifié trois études appropriées pour une méta-analyse<sup>34</sup>. L'étude a calculé un OR de 1,28 (intervalle de confiance à 95 % : 1,09-1,51) pour l'utilisation la plus élevée signalée (dans les modèles à effets fixes uniquement), deux des trois études ayant trouvé une association positive. Les auteurs mettent en garde contre l'interprétation d'une relation concluante étant donné le nombre limité d'études, les résultats contradictoires et l'évaluation de l'exposition basée sur des questionnaires<sup>34</sup>.

Le National Toxicology Program (NTP) des É.-U. a récemment achevé des études sur des animaux exposant des rats et des souris à des RF provenant des fréquences de la technologie 2G/3G (les souris à 1900 MHz et les rats à 900 MHz) et des modulations (Global System for Mobiles, ou GSM, et Accès multiple par répartition en code, ou AMRC) à des intensités croissantes (0-10 W/kg) quotidiennement pendant 28 jours ou deux ans<sup>35,36</sup>. Chez les souris, pour les deux périodes, aucune différence n'a été observée dans les résultats (y compris le cancer) entre les différents groupes exposés<sup>35</sup>. Chez les rats, le NTP a conclu qu'il y existait « des preuves » (tout au long du spectre des preuves « claires », « certaines », « équivoques » ou « aucune » preuve) de schwannome malin du cœur chez les rats mâles<sup>36</sup>. L'augmentation de l'incidence des schwannomes cardiaques est survenue dans le groupe de rats mâles le plus exposé à 6 W/kg, c'est-à-dire 75 fois la limite du DAS pour le corps complet (0,08 W/kg) dans le CS6<sup>4,36</sup>. Cependant, dans les études sur les rats et les souris, les groupes non exposés ont révélé une *diminution* statistiquement significative de la durée de vie par rapport aux groupes exposés, malgré la présence de cancérogénicité dans les groupes de rats exposés<sup>35,36</sup>.

Des résultats cancérogènes ont également été observés dans une étude distincte menée par Falcioni et coll., avec une incidence accrue du schwannome cardiaque chez les rats mâles après une exposition durant toute leur vie à des signaux de station de base modulés par GSM à 1835 MHz à des DAS de corps complet de 0,001, 0,03 ou 0,1 W/kg pendant 19 heures par jour<sup>70</sup>. Notez que les doses présentes dans cette étude étaient considérablement moins élevées que celles de l'étude du NTP, ce qui ne permet pas de tirer facilement des conclusions générales.

L'USFDA a publié un rapport en 2020 contenant une évaluation de la documentation de 2008 à 2018 sur le rayonnement de radiofréquences et le cancer, qui comprenait les études animales du US NTP examinées ci-dessus, ainsi que des études in vivo et épidémiologiques. Ce rapport a conclu qu'« il n'existe pas de lien de causalité quantifiable entre l'exposition aux RRF [rayonnements radiofréquences]

et la formation de tumeurs »<sup>37</sup> La CIPRNI a également examiné ces résultats et a conclu dans le même sens que l'USFDA<sup>38</sup>.

## Effets oculaires

Des études expérimentales des années 1960 et 1970 ont suggéré la possibilité de formation de la cataracte et d'autres effets sur la lentille à la suite d'une exposition aux RF. Cependant, de nombreuses études dosimétriques plus récentes n'ont pas été en mesure de reproduire les premiers résultats obtenus et n'ont pas démontré d'effets oculaires nocifs à des degrés d'expositions équivalents ou inférieurs aux limites prévues dans le CS6 pour des fréquences pouvant atteindre 5,8 GHz<sup>23</sup>. Des examens effectués en profondeur par l'IEEE<sup>3</sup> et la CIPRNI<sup>11</sup> concordent avec les conclusions fournies par la SRC selon lesquelles l'ensemble des éléments de preuve ne suggère pas que les expositions aux RF inférieures aux limites présentées dans le CS6 entraîneront des effets oculaires néfastes<sup>23</sup>. La SRC fait remarquer que les effets des RF sur l'acuité visuelle n'ont pas été étudiés et peuvent constituer un domaine d'intérêt important compte tenu de la forte vascularisation et de la présence de cellules souches dans la rétine<sup>23</sup>.

Depuis cet examen, certaines études expérimentales s'intéressant aux fréquences MMW ont été menées, et concordent avec les résultats mentionnés précédemment. Une étude sur des lapins révèle que des expositions de 10 mW/cm<sup>2</sup> (100 W/m<sup>2</sup>) à 95, 75 et 40 GHz n'entraînent aucun effet oculaire; à des intensités plus élevées, des lésions cornéennes, une opacité et un œdème ont été documentés<sup>71</sup>. Notez que ce niveau est dix fois supérieur à la limite fixée dans le CS6 qui est de 10 W/m<sup>2</sup> pour ces fréquences<sup>4,71</sup>. Une autre étude portant sur les effets de l'exposition chronique aux RF de 60 GHz à la limite du CS6 de 10 W/m<sup>2</sup> n'a pas trouvé de réponses négatives au cristallin humain et aux cellules épithéliales cornéennes<sup>72</sup>.

## Effets cardiaques

Les effets des RF sur la fonction cardiaque, notamment la variabilité de la fréquence cardiaque, l'ECG et les modifications de la pression artérielle, ont fait l'objet d'études qui n'ont pas révélé l'existence d'un lien de cause à effet<sup>24</sup>. Tous les résultats observés étaient associés à des expositions bien supérieures aux limites du CS6, et étaient généralement liés aux réponses thermorégulatrices plutôt qu'aux effets cardiaques directs<sup>23</sup>. La seule exception relevée par la SRC était une étude de 2013 qui a révélé de très fortes augmentations de la fréquence cardiaque lorsqu'une station de base de téléphone sans fil était rapprochée des sujets<sup>73</sup>. Cette étude ne concordait pas avec les neuf autres documents examinés, et la SRC a relevé des erreurs de méthodologie et un facteur de confusion potentiel dans la méthodologie de cette étude<sup>23</sup>. La SRC a déterminé qu'il n'existe aucune preuve concluante d'effets cardiaques néfastes résultant d'une exposition aux RF inférieures aux limites du CS6<sup>24</sup>.

Depuis l'examen de la SRC, huit autres études expérimentales sur des volontaires humains qui ont examiné cette question ont été identifiées. Quatre de ces études ont cerné un effet, et quatre ne l'ont pas fait. Sur les quatre qui ont mesuré un effet, deux études de petite envergure (N = 46 et N = 50) ont observé de petits changements dans l'intervalle R-R sur les ECG lors d'une exposition de courte durée aux RF en dessous des limites du CS6<sup>74,75</sup>. Les troisième et quatrième études ont mesuré des changements dans la variabilité du rythme cardiaque (VRC) lors des expositions aux RF des téléphones cellulaires. L'une des études, qui était expérimentale, a observé un changement lorsque la respiration était rythmée de façon non physiologique (rapport de 1:1 inspiration/expiration, par rapport au ratio normal qui est de 1:2 de respiration détendue), rendant difficile l'interprétation des résultats<sup>76</sup>. L'autre étude était une étude par observation utilisant les relevés de facturation des téléphones cellulaires

comme mesure de l'exposition, et a remarqué une diminution des paramètres de la VRC dans le groupe le plus exposé<sup>77</sup>. Plusieurs facteurs de confusion étaient présents et pouvant influencer les constats, y compris le rapport M:F (non divulgué), une différence d'âge significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin, ainsi qu'un IMC plus élevé dans le groupe exposé<sup>76-78</sup>.

Pour les études négatives, des méthodologies similaires ont été réalisées, même si les mesures physiologiques étaient généralement moins exhaustives. Ces études expérimentales ont mesuré la VRC ou les paramètres physiologiques cardiovasculaires chez des volontaires lors de diverses expositions aux CEM comparables aux expositions environnementales habituelles, et n'ont observé aucune différence entre le groupe exposé et le groupe témoin.<sup>79-82</sup> Dans l'ensemble, ces résultats supplémentaires ne suggèrent pas un changement à la conclusion de la SRC.

## Effets sur la reproduction

L'effet de la RF sur les résultats en matière de reproduction a été étudié, en mettant un accent particulier sur la fonction testiculaire ou la morphologie des spermatozoïdes; la SRC a indiqué que la confusion due à l'exposition concomitante à la chaleur n'était souvent pas prise en compte et que la dosimétrie n'était pas correctement quantifiée<sup>23</sup>. Les études des effets sur la reproduction féminine, y compris les issues défavorables de la grossesse, ont été touchées de la même façon<sup>23</sup>. Dans l'ensemble, plusieurs études ont conclu que les preuves de l'incidence de l'énergie RF sur la reproduction chez l'homme et la femme sont insuffisantes et incomplètes<sup>23</sup>. Une étude du Groupe consultatif du Royaume-Uni sur les rayonnements non ionisants (AGNIR) a conclu que malgré ces résultats, les effets négatifs des expositions aux radiofréquences à faible dose sur le système reproducteur masculin ne peuvent pas être écartés; la SRC recommande également la poursuite des recherches dans ce domaine<sup>14,23</sup>.

L'examen de la SRC a été suivi d'un autre qui a été trouvé comprenant deux études sur de petits animaux non cités dans l'examen de la SRC<sup>83</sup>. Cependant, la méthodologie de cet examen n'est pas précisée et ne semble pas utiliser une approche systématique ou fondée sur le poids de la preuve<sup>83</sup>. L'une des études incluses était restreinte et portait sur les rats mâles exposés à des émetteurs Wi-Fi à 2,45 Ghz. Cette étude a révélé des changements dans les paramètres du sperme au niveau cellulaire dans le groupe le plus exposé par rapport au groupe soumis à une faible dose et au groupe témoin (9 rats dans chaque groupe)<sup>84</sup>. La deuxième étude portait sur des souris femelles gravides (N = 15) exposées quotidiennement à des CEM de 50 Hz<sup>85</sup>. La progéniture femelle du groupe expérimental présentait des anomalies ovocytaires par rapport au groupe témoin<sup>85</sup>. La fréquence de 50 Hz utilisée est l'extrêmement basse fréquence (EBF), située en dehors du spectre de RF et n'est pas utilisée dans la technologie 5G ou dans les télécommunications à usage civil; ainsi, elle ne peut pas s'appliquer de manière générale à cette discussion et sa pertinence pour la santé humaine n'est pas précisée<sup>86</sup>.

## Effets neurologiques

Hormis la stimulation nerveuse bien connue pour son rapprochement à l'exposition aux RF, d'autres effets neurologiques ont été étudiés. La SRC a examiné des études qui documentent les effets neurophysiologiques de l'exposition aux RF, dont certaines démontrent des modifications EEG chez les sujets lorsqu'ils sont exposés aux RF<sup>23</sup>. Ils ont remarqué que les doses d'exposition expérimentales variaient considérablement, certaines étant destinées à simuler des doses communautaires « typiques » (par exemple, inférieures à la limite du CS6)<sup>23</sup>. Les modifications EEG du sommeil semblent avoir une meilleure reproductibilité entre les études (en particulier celles menées par les laboratoires Niels Kuster et Peter Achermann), bien qu'aucune d'elles ne documente des effets constants sur la santé cliniquement pertinents de ces résultats (par exemple, diminution du sommeil, changements

cognitifs)<sup>23</sup>. Peu d'études ont documenté de petits changements dans la perméabilité de la barrière hématoencéphalique du fait de l'exposition aux RF, mais ces changements étaient dépendants des doses supérieures aux limites du CS6 où s'est produit le réchauffement, et sont donc considérés comme étant d'importance limitée dans les milieux communautaires<sup>87</sup>. Dans l'ensemble, la SRC conclut qu'il n'existe actuellement aucun effet neurologique des expositions aux RF attendues en dessous des niveaux définis dans le CS6, mais que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour clarifier ces résultats<sup>23</sup>. Le rapport du CSRSEN indique que les études sur les RF utilisant l'EEG comme biomarqueur d'effet suggèrent un potentiel d'altération de l'activité cérébrale, bien que les résultats soient mineurs et que les mécanismes physiologiques et la pertinence clinique soient ambigus<sup>13</sup>.

## Effets sur le développement

La SRC a identifié deux examens clés sur les effets des RF sur le développement menés par van Rongen et coll (2009) et Feychting (2011), qui ont tous deux révélé des limitations méthodologiques telles que la confusion et le biais de sélection, empêchant d'établir un lien probant entre l'exposition aux CEM et les effets neurocomportementaux ou développementaux chez les enfants<sup>23</sup>. Ils concluent que les preuves actuelles ne suggèrent pas que l'exposition prénatale ou postnatale aux RF en dessous des limites du CS6 présente des séquelles neurocognitives, mais font écho à l'affirmation de l'OMS selon laquelle il devrait s'agir d'un domaine de recherche prioritaire<sup>23</sup>. L'examen du CSRSEN révèle que bien qu'il existe des preuves de tératogénicité dans les cas d'exposition aux RF qui peuvent provoquer des élévations de la température centrale > 1 °C dans les études sur les animaux, il n'y a aucune preuve concordante d'effets néfastes sur le développement liés à des expositions inférieures à cette intensité (c'est-à-dire inférieures aux niveaux définis par le CS6)<sup>13</sup>. Le rapport du CSRSEN conclut que les preuves d'apparition de troubles neurocomportementaux chez les enfants liés à l'utilisation du téléphone cellulaire par la mère pendant la grossesse demeurent limitées<sup>13</sup>.

Un examen récent de 4 importantes études de cohorte sur la grossesse comprenant un groupe d'étude représenté par 55 507 femmes enceintes et leurs enfants, a classé les personnes selon l'utilisation du téléphone portable déclarée volontairement (aucune, faible, moyenne et élevée) et a observé la durée de la grossesse suivante, la croissance fœtale et le poids à la naissance<sup>88</sup>. L'étude n'a révélé aucun risque accru de conséquences néfastes liées à la croissance fœtale ou au poids à la naissance, mais a identifié un risque faible, mais statistiquement significatif (HR = 1,04, IC à 95 % 1,01, 1,07) de naissance ayant un âge gestationnel inférieur pour un temps d'utilisation médian (mais pas élevée) du téléphone cellulaire<sup>88</sup>. Aucune hypothèse contribuant à expliquer pourquoi le groupe le plus exposé ne présentait pas un risque similaire n'a été fournie<sup>88</sup>.

## Bibliographie

1. Santé Canada. *L'énergie radiofréquence et la sécurité* [Internet]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2019 [modifié le 14 février 2019; cité le 18 mars 2019]. Disponible à : <https://ised-isde.canada.ca/site/gestion-spectre-telecommunications/fr/securite-conformite/faits-sujet-pylones/lenergie-radiofrequence-securite>.
2. Innovation, Sciences et Développement économique Canada, Gestion du spectre et télécommunications. *Perspectives du spectre de 2018 à 2022* [Internet]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2018 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://ised-isde.canada.ca/site/gestion-spectre-telecommunications/sites/default/files/attachments/2022/Outlook-2018-FR.pdf>.
3. IEEE Xplore. *C95.1-2005 - IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz* [Internet]. New York, NY : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.; 2019 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=10830>
4. Santé Canada, Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, Direction des sciences de la santé environnementale et de la radioprotection, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs. *Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz; Code de sécurité 6* (2015) [Internet]. Ottawa, ON : Sa Majesté la Reine aux droits du Canada; 2015 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/pdf/consult/2014/safety\\_code\\_6-code\\_securite\\_6/final-finale-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/consult/2014/safety_code_6-code_securite_6/final-finale-fra.pdf)
5. Gouvernement du Canada. Comment le Code de sécurité 6 vous protège contre les champs électromagnétiques (CEM) de radiofréquences [Internet]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2020 [cité le 21 déc. 2020]. Disponible à : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-et-risque-pour-sante/radiation/exposition-professionnelle-reglementation/code-securite-6-lignes-directrices-exposition-radiofrequences.html>
6. Wartenberg D. *EMFs: cutting through the controversy*. Public Health Rep. 1996; 111(3) : 204-17. Disponible à : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1381761/>
7. Foster KR. *Radiofrequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology*. Health Phys. 2007; 92(3) : 280-9. Disponible à : <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000248117.74843.34>
8. Sagar S, Dongus S, Schoeni A, Roser K, Eeftens M, Struchen B, et coll. *Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A systematic literature review*. J Expos Sci Environ Epidemiol. 2018; 28(2) : 147-60. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/jes.2017.13>
9. Jalilian H, Eeftens M, Ziaei M, Rössli M. *Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: an updated systematic review for Europe*. Environ. Res. 2019; 176 : 108517. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.048>
10. Bushberg JT, Chou CK, Foster KR, Kavet R, Maxson DP, Tell RA, et coll. *IEEE committee on man and radiation—COMAR technical information statement: health and safety issues concerning*

*exposure of the general public to electromagnetic energy from 5G wireless communications networks*. Health Phys. 2020; 119(2) : 236-46. Disponible à : <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001301>

11. Juutilainen J, Lagroye I, Miyakoshi J, van Rongen E, Saunders R, de Seze R, et coll. *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz–300 GHz)*. Dans : Review of experimental studies of RF biological effects (100 kHz 300 GHz). Munich : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP); 2009. 94-319.
12. Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN). *Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on human l'Internet health* [Internet]. Bruxelles : Commission européenne; 2007 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihp/docs/scenihp\\_o\\_007.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_007.pdf)
13. Comité scientifique des risques sanitaires émergents et nouveaux (CSRSEN). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)* [Internet]. Bruxelles : Commission européenne; 2015 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihp\\_o\\_041.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihp_o_041.pdf)
14. Health Protection Agency, Advisory Group on Non-ionising Radiation. *Health effects from radiofrequency electromagnetic fields*. Londres, Royaume-Uni : Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards; 2012.
15. Organisation mondiale de la santé (OMS). *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), Environmental Health Criteria 137* [Internet]. Genève : OMS ; 1993 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm>
16. British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC), National Collaborating Centre for Environmental Health (NCCEH) [Internet]. *2016 review: radiofrequency and health*. Vancouver , C.- B. : BCCDC ; 2016 [cité le 23 août 2022]. Extrait de : <http://www.bccdc.ca/health-info/prevention-public-health/radiofrequency-exposure>
17. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Évaluation des effets sur la santé des champs électromagnétiques dans le domaine des radiofréquences* [Internet]. Québec City, Québec : Gouvernement du Québec; 2016 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2119\\_evaluation\\_champs\\_electromagnetiques\\_radiofréquences.pdf](https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2119_evaluation_champs_electromagnetiques_radiofréquences.pdf)
18. Santé Canada. *Technologie 5G, cellulaires, tours de téléphonie cellulaire et antenne* [Internet]. Ottawa, ON : Santé Canada; 2020 [cité le 23 août 2022]. *Effets sur la santé des cellulaires, des tours de téléphonie cellulaire, des antennes et des dispositifs 5G*. Disponible à : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-et-risque-pour-sante/radiation/sources-rayonnements-quotidien/cellulaires-stations-base.html>
19. Organisation mondiale de la santé (OMS). *5G mobile networks and health l'Internet* [Internet]. Genève : OMS; 2020 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://www.who.int/westernpacific/news/q-a-detail/5g-mobile-networks-and-health>.

20. United States Federal Drug Administration (USFDA). Scientific evidence for cell phone safety [Internet]. Silver Spring, MD : OMS; 2020 [cité le 25 août 2020]. Disponible à : <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/cell-phones/scientific-evidence-cell-phone-safety>
21. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *5G radiofrequency – RF EMF*. [Internet]. Oberschleissheim : OMS; 2020 [cité le 24 août 2020]. Disponible à : <https://www.icnirp.org/en/applications/5g/index.html>
22. BioInitiative Working Group. *A rationale for biologically-based exposure standards for low-intensity electromagnetic /Internet radiation* [Internet]. [États-Unis] : BioInitiative Working Group; 2012 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://bioinitiative.org/>
23. Demers P, Findlay R, Foster KR, Kolb B, Moulder J, Nicol AM, et coll. *Expert panel report on a review of Safety Code 6 (2013) : Health Canada's safety limits for exposure to radiofrequency fields*. Ottawa, ON : Société royale du Canada; 2014.
24. Health Council of the Netherlands. Objet : Bioinitiative report [Internet]. La Haye : Health Council of the Netherlands; [cité le 23 août 2022] Disponible à : <https://www.healthcouncil.nl/binaries/healthcouncil/documents/advisory-reports/2008/09/02/bioinitiative/advisory-report-bioinitiative.pdf>
25. DiCiaglia A. *Towards 5G communication systems: Are there health implications?* Int J Hyg Environ Health. 2018; 221(3) : 367-75. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.011>
26. EFSA Scientific Committee, Hardy A, Benford D, Halldorsson T, Jeger MJ, Knutsen HK, et coll. *Guidance on the use of the weight of evidence approach in scientific assessments*. EFSA J. 2017;15(8):e04971. Disponible à : <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4971>
27. Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC); Organisation mondiale de la santé. *Non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields* [Internet]. Lyon: IARC ; 2011 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>
28. INTERPHONE Study Group. *Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study*. Int J Epidemiol. 2010; 39(3) : 675-94. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/ije/dyq079>
29. Schüz J, Jacobsen R, Olsen J, Boice J, McLaughlin J, Johansen C. *Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide Danish cohort*. J Natl Cancer Inst. 2006; 98(23) : 1707-13. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/jnci/djj464>
30. Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, Kheifets L, Savitz DA, International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection Standing Committee on Epidemiology. *Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now?* Environ Health Perspect. 2011; 119(11) : 1534-8. Disponible à : <https://doi.org/10.1289/ehp.1103693>
31. Choi Y-J, Moskowitz JM, Myung S-K, Lee Y-R, Hong Y-C. *Cellular phone use and risk of tumors: systematic review and meta-analysis*. Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(22) : 8079. Disponible à : <https://doi.org/10.3390/ijerph17218079>

32. Rööslü M, Lagorio S, Schoemaker MJ, Schüz J, Feychting M, et coll. *Brain and salivary gland tumors and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs*. *Annu Rev Public Health*. 2019 ; 40:221-38. Disponible à : <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040218-044037>
33. Wang P, Hou C, Li Y, Zhou D. *Wireless phone use and risk of adult glioma: evidence from a meta-analysis*. *World Neurosurg*. 2018; 115 : e629-e636. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.122>
34. De Siqueira EC, de Souza FTA, Gomez RS, Gomes CC, de Souza RP. *Does cell phone use increase the chances of parotid gland tumor development? A systematic review and meta-analysis*. *J Oral Pathol Med*. 2017; 46(7 ) : 480-3. Disponible à : <https://doi.org/10.1111/jop.12531>
35. National Toxicology Program. Technical report 596: *NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1,900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones* [Internet]. Research Triangle Park, NC : US Department of Health and Human Services; 2018 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt\\_rpts/tr596\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr596_508.pdf)
36. National Toxicology Program. Technical report 595: *NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM AND CDMA) used by cell l'Internet phones* [Internet]. Research Triangle Park, NC : US Department of Health and Human Services; 2018 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt\\_rpts/tr595\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr595_508.pdf)
37. US Food and Drug Administration. *Review of published literature between 2008 and 2018 of relevance to radiofrequency radiation and cancer* [Internet]. Washington, DC : US Food and Drug Administration; 2020 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://www.fda.gov/media/135043/download>
38. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *ICNIRP note on recent animal carcinogenesis studies* [Internet]. Munich : ICNIRP ; 2018 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>
39. Organisation mondiale de la santé (OMS). *Electromagnetic hypersensitivity; proceedings, international workshop on EMF hypersensitivity* [Internet]. Genève : WHO ; 2004 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://www.who.int/peh-emf/publications/reports/EHS\\_Proceedings\\_June2006.pdf?ua=1](https://www.who.int/peh-emf/publications/reports/EHS_Proceedings_June2006.pdf?ua=1)
40. Baliatsas C, Van Kamp I, Bolte J, Schipper M, Yzermans J, Lebreit E. *Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: can we get more specific? A systematic review*. *Environ Int*. 2012, 41 : 15-28. Disponible à : <https://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2011.12.002>
41. Van der Feltz-Cornelis MC, Hoedeman R, Keuter E, Swinkels J. Presentation of the multidisciplinary guideline medically unexplained physical symptoms (MUPS) and somatoform disorder in the Netherlands: Disease management according to risk profiles *J Psychosom Res*. 2012; 72:168-9. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2011.11.007>

42. Baliatsas C, Van Kamp I, Lebret E, Rubin G. *Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF): a systematic review of identifying criteria*. BMC Public Health. 2012; 12 : 643. Disponible à : <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-643>
43. Genuis S, Lipp C. *Electromagnetic hypersensitivity: fact or fiction?* Sci Total Environ. 2012; 414:103-112. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.008>
44. Pogue D. *5G Devices Are about to Change Your Life. It will make 4G phones seem positively quaint*. Scientific American [Internet], 2018 Oct 1 [cited 2022 Aug 23]. Disponible à : <https://www.scientificamerican.com/article/5g-devices-are-about-to-change-your-life/>
45. Zhabodov M, Alekseev SI, Dréan YL, Sauleau R, Fesenko EE. *Millimeter waves as a source of selective heating of skin*. Bioelectromagnetics. 2015; 36(6) : 464-75. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.21929>
46. Le Quément C, Nicolaz CN, Zhadobov M, Desmots F, Sauleau R, Aubry M, et coll. *Whole-genome expression analysis in primary human keratinocyte cell cultures exposed to 60 GHz radiation*. Bioelectromagnetics. 2012; 33:147-58. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.20693>
47. Le Quément C, Nicolaz CN, Habauzit D, Zhadobov M, Sauleau R, Dréan YL. *Impact of 60-GHz millimeter waves and corresponding heat effect on endoplasmic reticulum stress sensor gene expression*. Bioelectromagnetics. 2014 ; 35:444-51. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.21864>
48. Millenbaugh NJ, Roth C, Sypniewska R, Chan V, Eggers JS, Kiel JL, et coll. *Gene expression changes in the skin of rats induced by prolonged 35 GHz millimeter-wave exposure*. Radiat Res. 2008; 169(3) : 288-300. Disponible à : <https://doi.org/10.1667/RR1121.1>
49. Habauzit D, Le Quément C, Zhadobov M, Martin C, Aubry M, Sauleau R, et coll. *Transcriptome analysis reveals the contribution of thermal and the specific effects in cellular response to millimeter wave exposure*. PLoS One. 2014; 9(10) : e109435. Disponible à : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109435>
50. Soubere Mahamoud Y, Aite M, Martin C, Zhadobov M, Sauleau R, Dréan YL, et coll. *Additive effects of millimeter waves and 2-deoxyglucose co-exposure on the human keratinocyte transcriptome*. PLoS One. 2016; 11(8) : e0160810. Disponible à : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160810>
51. Di Donato L, Cataldo M, Stano P, Massa R, Ramundo-Orlando A. *Permeability changes of cationic liposomes loaded with carbonic anhydrase induced by millimeter waves radiation*. Radiat Res. 2012; 178(5) : 437-46. Disponible à : <https://doi.org/10.1667/RR2949.1>
52. Alekseev SI, Gordiienko OV, Radzievsky AA, Ziskin MC. *Millimeter wave effects on electrical responses of the sural nerve in vivo*. Bioelectromagnetics. 2010; 31(3) : 180-90. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.20547>
53. Alekseev SI, Ziskin MC, Kochetkova NV, Bolshakov MA. *Millimeter waves thermally alter the firing rate of the Lymnaea pacemaker neuron*. Bioelectromagnetics. 1997; 18(2) : 89-98. Disponible à : [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-186x\(1997\)18:2<89::aid-bem1>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1997)18:2<89::aid-bem1>3.0.co;2-0)

54. Khramov RN, Sosunov EA, Koltun SV, Ilyasova EN, Lednev VV. *Millimeter-wave effects on electric activity of crayfish stretch receptors*. Bioelectromagnetics. 1991; 12(4) : 203-14. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.2250120402>
55. Pakhomov AG, Prol HK, Mathur SP, Akyel Y, Campbell CB. *Search for frequency-specific effects of millimeter-wave radiation on isolated nerve function*. Bioelectromagnetics. 1997; 18(4) : 324-34. Disponible à : [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-186x\(1997\)18:4<324::aid-bem5>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1997)18:4<324::aid-bem5>3.0.co;2-4)
56. Pikov V, Arakaki X, Harrington M, Fraser SE, Siegel PH. *Modulation of neuronal activity and plasma membrane properties with low-power millimeter waves in organotypic cortical slices*. J Neural Eng. 2010; 7(4):045003. Disponible à : <https://doi.org/10.1088/1741-2560/7/4/045003>
57. Simko M, Mattsson M-O. *5G Wireless Communication and Health Effects—A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz*. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(18):3406 Disponible à : <https://doi.org/10.3390/ijerph16183406>
58. Karipidis K, Mate R, Urban D, Tinker R, Wood A. *5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz*. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2021; 31(4) : 585-605. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00297-6>
59. Hug K, Roosli M. *Therapeutic effects of whole-body devices applying pulsed electromagnetic fields (PEMF): a systematic literature review*. Bioelectromagnetics. 2012; 33(2) : 95-105. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.20703>
60. We SR, Koog YH, Jeong K-I, Wi H. *Effects of pulsed electromagnetic field on knee osteoarthritis: a systematic review*. Rheumatology. 2013; 52(5) : 815-24. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kes063>
61. Negm A, Lorbergs A, Macintyre NJ. *Efficacy of low frequency pulsed subsensory threshold electrical stimulation vs placebo on pain and physical function in people with knee osteoarthritis: systematic review with meta-analysis*. Osteoarthritis Cartilage. Sept. 2013; 21(9):1281-9. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.joca.2013.06.015>
62. Ferreira RM, Duarte JA, Gonçalves RS. *Non-pharmacological and non-surgical interventions to manage patients with knee osteoarthritis: an umbrella review*. Acta Reumatol Port. 2018; 43:182-200.
63. Li S, Yu B, Zhou D, He C, Zhuo Q, Hulme JM. *Electromagnetic fields for treating osteoarthritis*. Cochrane Database Syst Rev. 2013 ;(12) : CD003523. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003523.pub2>
64. Page MJ, Green S, Kramer S, Johnston RV, McBain B, Buchbinder R. *Electrotherapy modalities for adhesive capsulitis (frozen shoulder)*. Cochrane Database Syst Rev. 2014;(10):CD011324. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011324>
65. Kroeling P, Gross A, Graham N, Burnie SJ, Szeto G, Goldsmith CH, et coll. *Electrotherapy for neck pain*. Cochrane Database Syst Rev. 2013 ;(8) : CD004251. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004251.pub5>

66. Page MJ, Green S, Mrocki MA, Surace SJ, Deitch J, McBain B, et coll. *Electrotherapy modalities for rotator cuff disease*. Cochrane Database Syst Rev. 2016;(6):CD012225. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012225>
67. Organisation mondiale de la santé (OMS). Electromagnetic fields (EMF) : What are electromagnetic fields? [Internet]. Genève : OMS; 2016 [cité le 26 sept. 2019] Disponible à : <https://www.who.int/fr/news-room/questions-and-answers/item/electromagnetic-fields>
68. BC Centre for Disease Control (BCCDC). *Section 14: strategies for radiofrequency exposure reduction*. In: radiofrequency toolkit for environmental health practitioners [Internet]. Vancouver , C.- B. : BCCDC ; 2013 [cité le 29 août 2019]. Disponible à : <http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/EH/EH/Section14Final06062013.pdf>
69. Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, Ghissassi FE, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et coll. *Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields*. Lancet Oncol. 2011; 12(7 ) : 624-6. Disponible à : [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(11\)70147-4](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(11)70147-4)
70. Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, et coll. *Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission*. Environ. Res. 2018 ; 165:496-503. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037>
71. Kojima M, Suzuki Y, Sasaki K, Taki M, Wake K, Watanabe S, et coll. *Ocular effects of exposure to 40, 75, and 95 GHz millimeter waves*. J Infrared Milli Terahz Waves. 2018; 39(9 ) : 912-25. Disponible à : <https://doi.org/10.1007/s10762-018-0497-z>
72. Koyama S, Narita E, Shimizu Y, Shiina T, Taki M, Shinohara N, et coll. *Effects of long-term exposure to 60 GHz millimeter-wavelength radiation on the genotoxicity and heat shock protein (Hsp) expression of cells derived from human eye*. Int J Environ Res Public Health. 2016; 13(8) : 802. Disponible à : <https://doi.org/10.3390/ijerph13080802>
73. Havas M, Marrongelle J. *Replication of heart rate variability provocation study with 2.4-GHz cordless phone confirms original findings*. Electromagn Biol Med. 2013; 32(2 ) : 253-66. Disponible à : <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.776437>
74. Misek J, Belyaev I, Jakusova V, Tonhajzerova I, Barabas J, Jakus J. *Heart rate variability affected by radiofrequency electromagnetic field in adolescent students*. Bioelectromagnetics. 2018; 39(4 ) : 277-88. Disponible à : <https://doi.org/10.1002/bem.22115>
75. Misek J, Jakus J, Jakusova V, Veternik M, Kohan M, Basabas J. *Effect of generated radiofrequency electromagnetic field to heart rate variability in students*. Présenté à : 2017 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO). 2017 25-28 Sept.Cape Town, Afrique du Sud. Disponible à : <https://doi.org/10.23919/RADIO.2017.8242251>
76. Béres S, Németh A, Ajtay Z, Kiss I, Németh B, Hejjet L. *Cellular phone irradiation of the head affects heart rate variability depending on inspiration/expiration ratio*. In Vivo. 2018; 32(5 ) : 1145-53. Disponible à : <https://doi.org/10.21873/invivo.11357>

77. Ekici B, Tanindi A, Ekici G, Diker E. *The effects of the duration of mobile phone use on heart rate variability parameters in healthy subjects*. *Anatol J Cardiol*. 2016; 16(11 ) : 833-8. Disponible à : <https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2016.6717>
78. Shaffer F, Ginsberg JP. *An overview of heart rate variability metrics and norms*. *Front Public Health*. 2017; 5 : 258. Disponible à : <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
79. Andrianome S, Gobert J, Hugueville L, Stéphan-Blanchard E, Telliez F, Selmaoui B. *An assessment of the autonomic nervous system in the electrohypersensitive population: a heart rate variability and skin conductance study*. *J Appl Physiol*. 2017 ; 123:1055-62. Disponible à : <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00229.2017>
80. Choi SB et coll. *Effects of short-term radiation emitted by WCDMA mobile phones on teenagers and adults*. *BMC Public Health*. 2014; 14 : 438. Disponible à : <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-438>
81. Devasia T, Nandra A, Kareem H, Manu MK, Thakkar AS. *Acute effect of mobile phone on cardiac electrical activity in healthy volunteers*. *Int J Clin Med*. 2014; 5(5 ) : 167-70. Disponible à : <https://doi.org/10.4236/ijcm.2014.55029>
82. Malek F, Rani KA, Rahim HA, Omar MH. *Effect of short-term mobile phone base station exposure on cognitive performance, body temperature, heart rate and blood pressure of Malaysians*. *Sci Rep*. 2015; 5 : 13206. Disponible à : <https://doi.org/10.1038/srep13206>
83. Asghari A, Khaki AA, Rajabzadeh A, Khaki A. *A review on electromagnetic fields (EMFs) and the reproductive system*. *Electron Physician*. 2016; 8(7 ) : 2655-62. Disponible à : <https://doi.org/10.19082/2655>
84. Shokri S, Soltani A, Kazemi M, Sardari D, Mofrad FB. *Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) exposure on apoptosis, sperm parameters and testicular histomorphometry in rats: a time course study*. *Cell J*. 2015; 17(2):322-31. Disponible à : <https://doi.org/10.22074/cellj.2016.3740>
85. Roshangar L, Hamdi BA, Khaki AA, Rad JS, Soleimani-Rad S. *Effect of low-frequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular development*. *Adv Biomed Res*. 2014; 3 : 76. Disponible à : <https://doi.org/10.4103/2277-9175.125874>
86. Industrie Canada. Attribution du spectre des fréquences radioélectriques au Canada [Internet]. Ottawa, ON : Gouvernement du Canada; 2018 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : [https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/2018\\_Canadian\\_Radio\\_Spectrum\\_Chart.PDF/\\$FILE/2018\\_Canadian\\_Radio\\_Spectrum\\_Chart.PDF](https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/2018_Canadian_Radio_Spectrum_Chart.PDF/$FILE/2018_Canadian_Radio_Spectrum_Chart.PDF).
87. Stam R. Champs électromagnétiques et barrière hématoencéphalique. *Brain Res Rev*. 2010; 65(1) : 80-97. Disponible à : <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2010.06.001>
88. Tsarna E. Utilisation du téléphone portable pendant la grossesse, durée de la grossesse et croissance du fœtus dans quatre cohortes de naissances. *Am J Epidemiol*. 17 avril 2019 [cité le 23 août 2022]. Disponible à : <https://doi.org/10.1093/aje/kwz092>

## Sommaire des révisions

Date de révision	Description des modifications	Numéro de page
Août 2023	Précisé le texte concernant le Code de sécurité 6 et son utilisation pour guider la réglementation sans qu'il soit lui-même un règlement.	1-9

## Modèle proposé pour citer le document

Agence ontarienne de protection et de promotion de la santé (Santé publique Ontario). Effets sur la santé des champs électromagnétiques de radiofréquences, y compris la 5G. 1<sup>re</sup> révision. Toronto, ON : Imprimeur de la Roi pour l'Ontario; 2023.

## Historique de publication

Publié : 2022

1<sup>re</sup> révision : novembre 2023

## Avis de non-responsabilité

Santé publique Ontario (SPO) a conçu le présent document. SPO offre des conseils scientifiques et techniques au gouvernement, aux agences de santé publique et aux fournisseurs de soins de santé de l'Ontario. Les travaux de SPO s'appuient sur les meilleures données probantes disponibles au moment de leur publication. L'application et l'utilisation du présent document relèvent de la responsabilité des utilisateurs. SPO n'assume aucune responsabilité relativement aux conséquences de l'application ou de l'utilisation du présent document, qui peut être reproduit sans permission à des fins non commerciales seulement, sous réserve d'une mention appropriée de SPO. Aucun changement ni aucune modification ne peuvent être apportés à ce document sans la permission écrite explicite de Santé publique Ontario.

## Santé publique Ontario

Santé publique Ontario est un organisme du gouvernement de l'Ontario voué à la protection et à la promotion de la santé de l'ensemble de la population ontarienne, ainsi qu'à la réduction des iniquités en matière de santé. Santé publique Ontario met les connaissances et les renseignements scientifiques les plus pointus du monde entier à la portée des professionnels de la santé publique, des travailleurs de la santé de première ligne et des chercheurs.

Pour obtenir plus de renseignements au sujet de SPO, veuillez consulter [santepubliqueontario.ca](https://santepubliqueontario.ca).

© Imprimeur de la Roi pour l'Ontario, 2023

