



UTILISATION DU WI-FI DANS LES ÉCOLES

Évaluation des risques à la santé



UTILISATION DU WI-FI DANS LES ÉCOLES

Évaluation des risques à la santé

UTILISATION DU WI-FI DANS LES ÉCOLES – Évaluation des risques à la santé
est une production de la Direction de santé publique de l'Agence de la santé
et des services sociaux de Montréal.

1301, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2L 1M3
514 528-2400
dsp.santemontreal.qc.ca

Auteur

Monique Beausoleil, M.Sc., Toxicologue

Nous tenons à remercier Mathieu Gauthier de l'Institut national de santé publique du Québec pour ses commentaires.

Notes

Dans ce document, l'emploi du masculin générique désigne aussi bien les femmes que les hommes et est utilisé dans le seul but d'alléger le texte.

Ce document est disponible en ligne à la section documentation
du site Web de l'Agence : agence.santemontreal.qc.ca

© Agence de la santé et des services sociaux de Montréal, 2014

ISBN 978-2-89673-447-4 (Imprimé)

ISBN 978-2-89673-448-1 (En ligne)

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

MOT DU DIRECTEUR

Depuis une quinzaine d'années, la technologie Wi-Fi est de plus en plus utilisée afin de relier différents appareils électroniques, comme les ordinateurs portables, les tablettes électroniques, les téléphones intelligents, avec des réseaux et Internet. On retrouve cette technologie à la maison et dans les lieux publics. Elle fait maintenant son entrée dans les écoles.

Afin de répondre à une demande d'un conseil d'établissement d'une école primaire de l'île de Montréal, la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal a résumé les plus récentes conclusions des experts internationaux concernant les impacts des radiofréquences émises par la technologie Wi-Fi sur la santé des élèves.

Je vous souhaite une bonne lecture!

Le Directeur de santé publique,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Richard Massé', written in a cursive style.

Richard Massé, M.D.

RÉSUMÉ

Ce rapport a été produit pour répondre à une demande d'un conseil d'établissement (CÉ) d'une école primaire située sur le territoire de la Commission scolaire de Montréal. Dans cette école, il est prévu d'installer prochainement des bornes Wi-Fi (qu'on appelle aussi routeur Wi-Fi) afin de relier des appareils électroniques, tels les ordinateurs portables et les tableaux blancs numériques interactifs, à un réseau interne et à Internet. Certains parents auraient exprimé des craintes relativement à de possibles effets des radiofréquences (RF) émises par cette technologie sur la santé des enfants. Le CÉ a alors demandé un avis à la Direction de santé publique de l'Agence de santé et des services sociaux de Montréal relativement aux effets potentiels des RF sur la santé.

Les résultats des plus récentes études réalisées par ou pour des autorités gouvernementales ont démontré que l'exposition des utilisateurs de Wi-Fi aux radiofréquences (RF) émises par cette technologie demeure bien inférieure aux normes du Code de sécurité 6 établies par Santé Canada afin de protéger la santé. Même lorsque l'activité des bornes Wi-Fi est forcée au maximum ou que la mesure est réalisée à 20 cm de ces bornes, alors qu'elles sont installées au plafond des locaux des écoles de la CSDM, le niveau d'exposition aux RF demeure inférieur aux normes canadiennes.

Les effets potentiels des RF sur la santé ont fait l'objet de milliers d'études, tant au niveau des cellules, chez l'animal et chez l'humain. Des organismes de santé internationaux analysent ensuite périodiquement les résultats de ces études afin de ne retenir que celles qui présentent des méthodologies rigoureuses et celles dont les résultats ont été confirmés par plusieurs autres études indépendantes qui possédaient une méthodologie similaire. Les analyses critiques faites récemment par ces organismes de santé internationaux concluent qu'à ce jour, des niveaux de RF inférieurs aux normes n'ont pas démontré d'effets néfastes sur la santé.

En ce qui concerne le cancer, ces organisations ont établi qu'il n'y a pas d'évidence que les RF puissent causer des dommages génétiques ou augmenter la probabilité que les cellules exposées aux RF deviennent malignes. Les résultats des études animales ont montré invariablement qu'il n'y a aucune augmentation du risque de cancer suite à une exposition prolongée aux RF. Chez l'humain, les études n'ont pas démontré d'augmentation du risque de cancer du cerveau en relation avec l'utilisation du téléphone cellulaire sur une période supérieure à 10 ans. Quelques signes d'un risque accru de gliome ont été observés dans certaines études chez les 10% d'utilisateurs utilisant le plus leur téléphone, mais des biais et des erreurs méthodologiques pourraient expliquer ces observations. C'est sur cette base que le *Centre international de Recherche sur le Cancer* a classé les RF dans la catégorie des « cancérogènes possibles pour l'homme », catégorie dans laquelle on retrouve, entre autres, le café et les légumes marinés.

Finalement, les organismes de santé internationaux considèrent que jusqu'à présent, la recherche n'a pas pu fournir de données qui démontreraient une relation de cause à effet entre l'exposition aux RF et les symptômes rapportés par les personnes qui disent présenter une « hypersensibilité électromagnétique ».

Compte tenu d'une part, des niveaux d'exposition aux RF attribuables à la technologie Wi-Fi et d'autre part, des résultats des études scientifiques rigoureuses portant sur les effets des RF sur la santé, l'utilisation du Wi-Fi dans les écoles primaires ne constitue pas un risque pour la santé des enseignants ni celle des élèves.

TABLE DES MATIÈRES

MOT DU DIRECTEUR	I
RÉSUMÉ.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES ABBRÉVIATIONS.....	VII
1. INTRODUCTION.....	1
2. DESCRIPTION DES RADIOFRÉQUENCES (RF).....	1
3. DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE WI-FI.....	3
4. ÉTAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES SUR LES EFFETS DES RF SUR LA SANTÉ	4
5. NORMES CANADIENNES POUR LES RF	6
6. RÉSUMÉ DES MESURES DE RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI ET COMPARAISON AVEC LES NORMES CANADIENNES.....	7
7. COMPARAISON ENTRE L'EXPOSITION AUX RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI ET CELLE ATTRIBUABLE AUX AUTRES SOURCES DE RF	9
8. CONCLUSION SUR LES RISQUES À LA SANTÉ ASSOCIÉS AUX RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI... 	11
LISTE DES RÉFÉRENCES	13
ANNEXE 1. DÉTAIL DES MESURES DES RF DANS DES LOCAUX AVEC WI-FI	15
<i>Industrie Canada, 2012 : Étude de cas : Mesures de l'exposition aux radiofréquences dues aux dispositifs Wi-Fi.....</i>	<i>15</i>
<i>Étude en Nouvelle-Zélande, 2014 : Exposures to radiofrequency fields from WiFi in New Zealand schools.....</i>	<i>17</i>
<i>Étude au Royaume-Uni, 2012 : Wi-Fi in schools : Results of an HPA study.....</i>	<i>20</i>

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. PUISSANCE D'ÉMISSION DE QUELQUES SOURCES DE RADIOFRÉQUENCES	2
TABLEAU 2. LIMITES D'EXPOSITION AUX RF ÉMISES PAR UN DISPOSITIF WI-FI POUR LE PUBLIC EN GÉNÉRAL SELON LE CS6 DE SANTÉ CANADA.....	7
TABLEAU 3. NIVEAUX D'EXPOSITION MOYENNE DURANT 6 MINUTES AUX RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI.....	8
TABLEAU 4. DENSITÉ DE PUISSANCE MOYENNE MESURÉE DANS DIFFÉRENTS ENVIRONNEMENTS ET À PROXIMITÉ D'APPAREILS ÉLECTRONIQUES	9
TABLEAU 5. EXPOSITION MOYENNE AUX RF MESURÉE À L'AIDE DE DOSIMÈTRES AFIN DE DÉTERMINER LES PRINCIPALES SOURCES D'EXPOSITION AUX RF EN ZONES URBAINES D'EUROPE ^A	10
TABLEAU 6. MESURE DES RF DANS LA SALLE D'INDUSTRIE CANADA AVEC 2 BORNES WI-FI ET 24 ORDINATEURS PORTABLES ..	17
TABLEAU 7. ESTIMATION DE L'EXPOSITION MAXIMALE AUX RF ÉMISES PAR DES BORNES WI-FI ET DES ORDINATEURS PORTABLES EN FONCTIONNEMENT MAXIMAL EN LABORATOIRE	20
TABLEAU 8. MESURE DE L'EXPOSITION AUX RF ÉMISES PAR LE WI-FI À PARTIR DE MODÉLISATIONS EN LABORATOIRE ET DE MESURES EN CLASSES	21
TABLEAU 9. ESTIMATION DE L'EXPOSITION AUX RF DES ÉLÈVES DU PRIMAIRE ET DU SECONDAIRE EN TERMES DE DÉBIT D'ABSORPTION SPÉCIFIQUE ET DE DENSITÉ DE PUISSANCE.....	22

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.....	1
FIGURE 2. RÉSEAU LOCAL SANS FIL (SOURCE : HTTPS://WWW.EBANKINGBUTSECURE.CH/FR/SECURITYNEWS/269-WLAN&ITEMID=110)	3
FIGURE 3. PLAN DE LA SALLE AVEC LES DEUX BORNES WI-FI (PA1 ET PA2), LES 24 ORDINATEURS PORTABLES (L1 À L24) ET LES 12 POINTS DE MESURE (P1 À P12).....	15
FIGURE 4. EXEMPLE TYPE DES MESURES EFFECTUÉES DANS LES LOCAUX DES 2 ÉCOLES	18
FIGURE 5. EXPOSITION AUX RF DANS UNE CLASSE DE L'ÉCOLE A	19
FIGURE 6. EXPOSITION AUX RF DANS UNE CLASSE DE L'ÉCOLE B	20

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

ANSES : Agence nationale française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

Amont : téléchargement amont, de l'ordinateur à la borne Wi-Fi

Aval : téléchargement aval, de la borne Wi-Fi à l'ordinateur

CÉ : conseil d'établissement scolaire

CIRC : Centre international de Recherche sur le Cancer

CS6 : Code de sécurité 6 de Santé Canada

CSDM : Commission scolaire de Montréal

DAS : débit d'absorption spécifique

GHz : gigahertz (1 000 000 000 Hertz)

HSE : hypersensibilité électromagnétique

kHz : kilohertz (1 000 Hertz)

MHz : mégahertz (1 000 000 Hertz)

OMS : Organisation mondiale de la santé

RF : radiofréquence

U.K. HPA : United Kingdom Health Protection Agency

$\mu\text{W}/\text{m}^2$: microwatt par mètre carré

W/kg : watt par kg de poids corporel

Wi-Fi (ou routeur Wi-Fi) : technologie permettant de créer des réseaux informatiques sans fil

1. INTRODUCTION

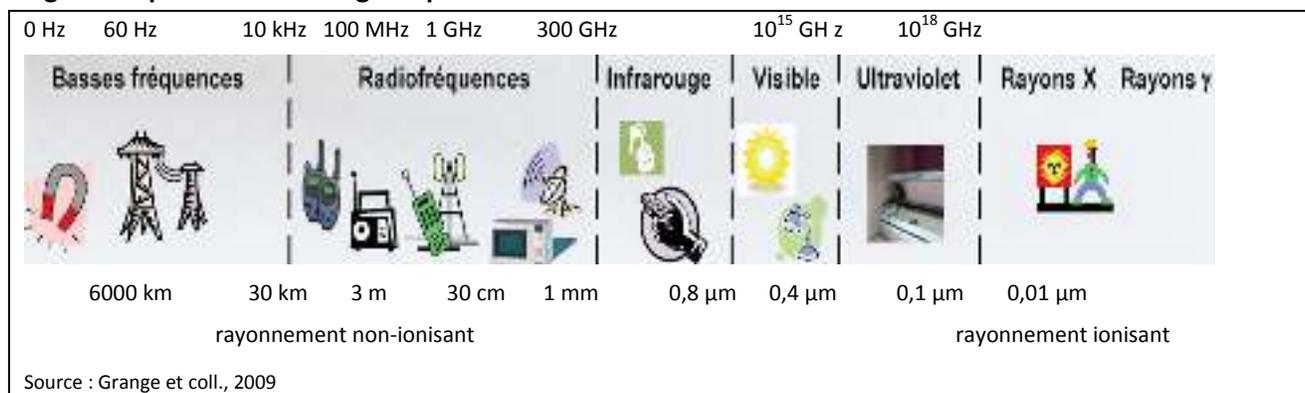
Ce rapport a été produit pour répondre à une demande d'un conseil d'établissement (CÉ) d'une école primaire située sur le territoire de la Commission scolaire de Montréal. Dans cette école, il est prévu d'installer prochainement des bornes Wi-Fi (qu'on appelle aussi routeur Wi-Fi) afin de relier des appareils électroniques, tels les ordinateurs portables et les tableaux blancs numériques interactifs, à un réseau interne et à Internet. Certains parents auraient exprimé des craintes relativement à de possibles effets des radiofréquences (RF) émises par cette technologie sur la santé des enfants. Le CÉ a alors demandé un avis à la Direction de santé publique de l'Agence de santé et des services sociaux de Montréal relativement aux effets potentiels des RF sur la santé.

Pour répondre à ce questionnement, nous présentons d'abord une description des RF et de la technologie Wi-Fi afin de mieux comprendre le comportement des champs RF dans notre environnement. On décrit ensuite les résultats des études scientifiques ainsi que l'avis des organismes de santé reconnus concernant les effets potentiels des RF sur la santé humaine. Puis, les niveaux d'exposition aux RF estimés ou mesurés dans des milieux scolaires utilisant la technologie Wi-Fi sont détaillés et comparés aux normes canadiennes ainsi qu'aux niveaux d'exposition généralement présents dans l'environnement et/ou émis par d'autres appareils couramment utilisés. Finalement, le présent document conclut sur l'impact de la technologie Wi-Fi sur la santé des enfants en milieu scolaire.

2. DESCRIPTION DES RADIOFRÉQUENCES (RF)

Les RF sont des champs électromagnétiques dont la longueur d'onde varie de 3 kHz (kiloHertz) à 300 GHz (gigaHertz)¹ et qui font partie du spectre électromagnétique (Figure 1). Toutefois, contrairement aux UV, aux rayons X et aux rayons gamma (γ), les RF sont des rayonnements non-ionisants, i.e. qu'ils n'ont pas suffisamment d'énergie pour briser les liaisons entre les molécules et endommager l'ADN des cellules.

Figure 1. Spectre électromagnétique



¹ 300 GHz = 300 000 MHz (mégaHertz) = 300 000 000 kHz

Les RF permettent de transmettre et de véhiculer de l'information (voix, données, vidéo) entre un émetteur (antenne) et un récepteur (appareil de réception), ou entre deux émetteurs-récepteurs. Les RF sont utilisées pour de nombreuses applications : radio et télévision, réseau de téléphonie cellulaire, téléphone sans fil, réseau de services publics (services de police et d'incendie), borne Wi-Fi (routeur Wi-Fi), radar aérien et maritime, périphérique informatique sans fil (imprimante, souris), moniteur pour bébés, système d'alarme sans fil, etc.

Certaines applications émettent constamment des RF (antennes émettrices de télévision et de radio FM, antennes cellulaires) tandis que d'autres ne sont actives que lors de leur utilisation (téléphones cellulaires, fours à micro-ondes). La puissance d'émission des différentes sources de RF est très variable (Tableau 1). Les antennes émettrices de télévision et de radio FM sont très puissantes (plusieurs centaines de milliers de watts), afin d'être en mesure de transmettre le signal sur des dizaines de kilomètres jusqu'aux appareils de télévision et de radio. Les bornes Wi-Fi ont une faible puissance d'émission (1 watt maximum selon les exigences d'Industrie Canada) qui est suffisante pour communiquer avec les différents appareils situés à proximité (ordinateurs portables, téléphones cellulaires, consoles de jeux vidéo, etc.).

Tableau 1. Puissance d'émission de quelques sources de radiofréquences

Source d'émission de RF	Puissance d'émission (watts)	Gamme de fréquences (MHz)
Antenne de télévision	Jusqu'à 780 000	470 – 860
Antenne de radio FM	Jusqu'à 300 000	87,5 – 108
Antenne cellulaire	Environ 30	920 – 960 ; 1 800 – 1 880 (2G); 1 920 – 2 170 (3G)
Téléphone cellulaire	0,1 à 2 maximum	920 – 960 ; 1 800 – 1 880 (2G); 1 920 – 2 170 (3G)
Borne WiFi (routeur Wi-Fi)	1 maximum	2 400 - 2 484; 5 150 - 5 350; 5 470 - 5 825; 5 725 - 5 875
Téléphone sans fil	0,25 maximum	1 880 – 1 900
Compteur intelligent (Hydro-Québec)	0,425	902 – 928
Bluetooth	0,001 à 0,025 maximum	2 400

Source : Grange et coll., 2009; Doria et al., 2012; Hydro-Québec, 2012; Foster et Moulder, 2013
 Une partie des données de ce tableau provient de références européennes. On peut retrouver sur le site d'Industrie Canada le tableau canadien d'attribution des bandes de fréquences pour le Canada (Industrie Canada, 2009).

L'exposition d'une personne aux RF émises par une source de RF varie en fonction de plusieurs facteurs : la puissance d'émission de la source de RF, la distance entre cette source et la personne exposée (lorsqu'on double la distance entre une personne et une source de RF, l'exposition aux RF est diminuée d'un facteur de 4), l'atténuation des RF par les obstacles environnants (murs d'édifice), etc. Ainsi, l'exposition aux RF provenant d'un téléphone cellulaire sera beaucoup plus importante que celle émise par une antenne cellulaire, pourtant plus puissante, car le téléphone est localisé tout près de la tête alors que l'antenne cellulaire est située loin de l'utilisateur. Par contre, l'exposition aux RF mesurée à 20 cm d'une borne Wi-Fi installée au plafond d'une classe sera 250 fois moindre à proximité des élèves situés à 3 m de cette borne.

3. DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE WI-FI

L'appellation « Wi-Fi » est utilisée pour identifier les produits certifiés qui appartiennent à une catégorie de dispositifs de réseau local sans fil (WLAN pour Wireless local area networks) basés sur la norme IEEE 802.11 (Foster et Moulder, 2013). Cette technologie est en constante évolution depuis ces 15 dernières années.

La technologie Wi-Fi permet à différents appareils électroniques d'avoir accès à un réseau ou à Internet via un réseau sans fil. On la retrouve partout autour de nous, à la maison, au bureau, dans les cafés, dans les écoles. Les appareils qui peuvent s'y relier sont multiples et en constante évolution : ordinateurs, téléphones intelligents, tablettes électroniques, consoles de jeu vidéo, équipements audio, thermostats domestiques, moniteurs pour bébés, souliers de course, etc. En 2013, environ 61% des maisons américaines étaient équipées du Wi-Fi pour accéder à Internet (Foster and Moulder, 2013).

La technologie Wi-Fi fait appel à des bornes Wi-Fi (qu'on appelle aussi routeurs Wi-Fi) de faible puissance, généralement installées au plafond et qui communiquent avec les appareils électroniques (Figure 2). Les bornes et les appareils qui s'y connectent se transmettent de l'information de façon intermittente. La transmission de l'information se fait par une série d'impulsions de RF qui durent quelques millisecondes. La durée de transmission entre les bornes Wi-Fi et les appareils électroniques est appelée le cycle de travail (« duty cycle »). Par exemple, un cycle de travail de 0,01 pour un ordinateur portable signifie que l'information est transmise entre cet appareil et une borne Wi-Fi durant 1% du temps, c'est-à-dire durant 36 secondes à toutes les heures. Comme une borne Wi-Fi transmet généralement de l'information à plus d'un ordinateur, son cycle de travail sera un peu plus élevé que celui de chacun des ordinateurs.

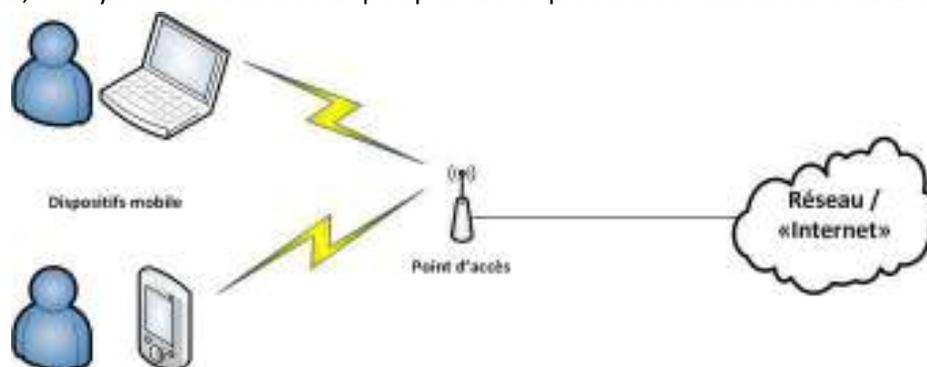


Figure 2. Réseau local sans fil (source : <https://www.ebankingbutsecure.ch/fr/securitynews/269-wlan&Itemid=110>)

Dans les écoles de la Commission scolaire de Montréal, les bornes sont installées au plafond de certains locaux de façon à desservir adéquatement les utilisateurs; on n'en retrouve cependant pas dans toutes les classes. La puissance des bornes Wi-Fi est de 0,060 watt pour les fréquences de 2 400 – 2 484 MHz et de 0,200 watt dans les fréquences de 5 150 – 5 850 MHz.

4. ÉTAT DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES SUR LES EFFETS DES RF SUR LA SANTÉ

Les RF émises par différents dispositifs interagissent avec la matière, celle du vivant (végétaux, animaux, humains) comme du non-vivant (bâtiments), et y perdent une partie de leur énergie. Cette fraction d'énergie est alors absorbée par la matière sous forme de chaleur.

Il existe un consensus dans la communauté scientifique concernant les effets des RF sur la santé : une exposition à court terme à de très fortes intensités de RF cause une augmentation de la température du corps qui pourrait être néfaste pour la santé; c'est ce qu'on appelle les « effets thermiques ». Les normes canadiennes et internationales sont d'ailleurs établies de façon à prévenir ces effets thermiques (voir la section 5 sur les normes).

Au cours des dernières décennies, la recherche scientifique a tenté de déterminer si, par le biais de mécanismes non reliés à l'augmentation de la température du corps, l'exposition à des niveaux de RF inférieurs aux normes pouvait causer des effets néfastes sur la santé. On compte aujourd'hui des milliers d'études qui visent à établir si de tels effets, qu'on appelle « effets non-thermiques », existent réellement. Parmi ces nombreuses études, certaines semblent démontrer un effet, alors que d'autres n'en montrent pas. Et c'est l'interprétation des résultats de ces études qui crée une certaine controverse actuellement concernant les effets potentiels d'une exposition aux faibles niveaux de RF qui sont actuellement présents dans nos environnements modernes.

Pour s'y retrouver à travers toute cette littérature scientifique, des organismes de santé internationaux (United Kingdom Health Protection Agency, Agence nationale française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Organisation mondiale de la santé, etc.) analysent périodiquement les résultats des études publiées (U.K.HPA, 2012; ANSES, 2013; OMS, 2014). Des spécialistes, tant du domaine de la physique des ondes (physiciens, ingénieurs, etc.) que du domaine de la santé (médecins, épidémiologistes, etc.), revoient chacune des études publiées, demandent parfois à consulter les données de base de ces études, peuvent questionner et rencontrer les auteurs de ces études afin de déterminer si les méthodologies utilisées sont adéquates, tant au niveau de l'analyse de l'exposition aux RF des sujets (cellules, animaux, humains) que pour la mesure des effets sanitaires. Ces organisations ne retiennent alors que les études réalisées à l'aide de méthodologies rigoureuses ainsi que celles dont les résultats ont été confirmés par plusieurs autres études indépendantes qui possédaient une méthodologie similaire. On peut donc se fier aux conclusions de ces organisations, d'autant plus qu'elles révisent périodiquement leur évaluation à la lumière des nouvelles études publiées. Leurs conclusions sont présentées ci-dessous.

A ce jour, la recherche réalisée sur des modèles cellulaires et animaux ainsi que chez l'humain dans des études cliniques, n'a pas apporté d'élément de preuve significatif que l'exposition aux RF à des niveaux inférieurs aux normes puisse causer des effets néfastes sur le système nerveux central (fonctions cognitives, sommeil à court terme, rythmes circadiens, fonctions auditives, maladies neurodégénératives et

neurologiques), la fertilité, la tératogénèse² ou le développement *in utero*, le système immunitaire, le système endocrinien, le système cardio-vasculaire, le système oculaire, le bien-être et la santé globale (ANSES, 2013).

En ce qui concerne le cancer, il n’y a pas d’évidence, à partir des études réalisées sur des cellules, que les RF puissent causer des dommages génétiques ou augmenter la probabilité que les cellules exposées aux RF deviennent malignes (U.K.HPA, 2012). Les résultats des études portant sur des animaux montrent invariablement qu’il n’y a aucune augmentation du risque de cancer du fait d’une exposition prolongée aux champs de RF (OMS, 2014).

Les études sur le cancer chez l’humain ont été réalisées chez les utilisateurs de téléphones cellulaires qui sont les personnes les plus exposées aux RF. Les études épidémiologiques de cohortes bien menées n’ont pas observé d’augmentation de tumeurs intracrâniennes en fonction de l’utilisation des téléphones cellulaires. De même, les analyses des taux d’incidence de cancers dans différents pays n’ont pas observé d’augmentation de taux en fonction du temps. Les résultats d’une série d’études épidémiologiques cas-témoins menées dans treize pays (étude INTERPHONE coordonnée par le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC)) indiquent qu’aucune augmentation du risque de gliome ou de méningiome (cancers du cerveau) n’a pu être établie en relation avec l’utilisation du téléphone cellulaire chez des adultes sur une période supérieure à 10 ans. Quelques signes d’un risque accru de gliome ont été observés dans certaines études chez les 10% d’usagers utilisant le plus leur téléphone, mais les chercheurs de l’étude INTERPHONE et l’Organisation mondiale de la santé (OMS) croient que des biais et des erreurs méthodologiques pourraient expliquer ces observations. C’est en se basant en grande partie sur cette étude que le CIRC a classé les RF dans la catégorie des cancérogènes possibles pour l’homme (Groupe 2B). Il s’agit d’une catégorie où l’on considère comme crédible un lien de cause à effet, mais sans qu’on puisse éliminer avec une certitude raisonnable le hasard, un biais ou des facteurs de confusion (OMS, 2014). Sans vouloir minimiser cette classification des RF, soulignons que d’autres produits d’usage courant, comme le café et les légumes marinés, sont aussi classés dans la catégorie des cancérogènes possibles pour l’homme (CIRC, 2014).

Selon l’OMS (2014), les études n’ont pas montré d’association entre les symptômes rapportés par les personnes qui disent présenter une « hypersensibilité électromagnétique » (HSE) et l’exposition aux RF. De nombreuses expérimentations à double insu³ ont été réalisées en exposant ou non aux RF des personnes du public et d’autres qui disaient présenter une HSE. Le but de ces études était de déterminer si les sujets étaient capables de détecter les RF et s’ils présentaient des symptômes à court terme au moment où ils étaient effectivement exposés aux RF. Or ces études prises dans leur ensemble ont démontré que des expositions à court terme aux RF à des niveaux sous les normes ne causent pas de symptômes, et les personnes exposées ne sont pas capables de détecter la présence de RF de façon récurrente (U.K.HPA, 2012). Les preuves scientifiques disponibles, qui sont de plus en plus robustes, montrent que l’HSE n’est pas associée à l’exposition aux RF. Toutefois, les symptômes rapportés par les personnes qui disent

² Se dit d’une substance causant des malformations embryonnaires ou fœtales.

³ Ni l’expérimentateur ni les sujets ne savent s’il y a ou non exposition des sujets aux RF.

présenter une HSE demeurent bien réels. D'autres causes physiques ou psychologiques pourraient expliquer les symptômes rapportés, de sorte que ces personnes devraient, suivant les recommandations de l'OMS, obtenir de l'aide médicale.

Bien qu'à l'heure actuelle aucun effet néfaste sur la santé d'expositions aux RF en dessous des normes n'ait été démontré à court ou à long terme, les différents organismes de santé internationaux recommandent de poursuivre la recherche. Ils proposent, par exemple, de mieux caractériser les expositions humaines aux RF afin de tenir compte du caractère complexe et rapidement évolutif de l'environnement électromagnétique ou de poursuivre les études sur le risque de cancer associé à l'utilisation du téléphone cellulaire qui demeure encore la principale source d'exposition aux RF pour les utilisateurs.

Au Canada, plusieurs autorités de santé gouvernementales ont déjà émis des avis indiquant que la technologie Wi-Fi ne présentait pas de risque pour la santé des utilisateurs (Alberta Government, 2012; Santé Canada, 2013; Public Health Ontario, 2014).

5. NORMES CANADIENNES POUR LES RF

Au Canada, les dispositifs Wi-Fi doivent respecter les normes techniques établies par Industrie Canada. Ils doivent fonctionner dans des plages de fréquences bien précises (2 400 - 2 483,5 MHz, 5 150 - 5 350 MHz, 5 470 - 5 825 MHz et 5 725 - 5 875 MHz) et la puissance de leur antenne doit être inférieure à 1 watt (Doria et al., 2012)⁴. Ils doivent également respecter les limites d'exposition aux RF du Code de sécurité 6 (CS6) émises en 2009 par Santé Canada et révisées en 2014 (Santé Canada, 2009 ; Société royale du Canada, 2014). Soulignons que les normes canadiennes du CS6 sont du même ordre de grandeur que les normes établies dans la très grande majorité des pays.

Ces normes sont basées sur les résultats d'études menées chez les primates qui ont démontré une augmentation de la température des tissus corporels de 1°C lorsque le débit d'absorption spécifique (DAS)⁵ des RF est de 4 W/kg pour tout le corps. Santé Canada a appliqué un facteur de sécurité de 50 à cette valeur et proposé des limites pour le public en général de 0,08 W/kg pour tout le corps ou 1,6 W/kg pour la tête, le cou et le tronc (Tableau 2). Le DAS est le seul moyen de quantifier l'exposition aux RF émises par les appareils dont l'antenne se situe très près du corps, comme c'est le cas du téléphone cellulaire. Pour l'exposition provenant d'une antenne située plus loin de l'utilisateur (par ex. une antenne cellulaire ou une borne Wi-Fi), la norme du CS6 peut s'exprimer en DAS, mais elle peut également être indiquée en termes de densité de puissance : 10 000 000 µW/m² (microwatt par mètre carré de surface⁶) (Tableau 2).

La durée de la mesure des RF est aussi un paramètre important. Le CS6 indique qu'on doit faire la mesure de l'exposition aux RF durant 6 minutes. En effet, compte tenu du caractère ondulatoire et intermittent des

⁴ Dans les faits, la majorité des dispositifs Wi-Fi actuellement vendus sur le marché canadien fonctionnent à des niveaux de puissance plus faibles que 1 watt (Doria et al., 2012).

⁵ La DAS est une mesure de la puissance des RF absorbées (watts) par unité de masse corporelle (kg).

⁶ 1 µW/m² signifie 1 microwatt par mètre carré, soit 1/1 000 000 de watt par mètre carré.

communications par RF, ne prendre qu’une mesure instantanée pourrait sous-estimer ou sur-estimer considérablement l’exposition aux RF. Plusieurs études d’exposition aux RF émises par la technologie Wi-Fi présentent des valeurs d’exposition instantanée maximales. Ces données ne peuvent pas être comparées aux normes basées sur 6 minutes.

Tableau 2. Limites d’exposition aux RF émises par un dispositif Wi-Fi pour le public en général selon le CS6 de Santé Canada

Type de limites	Particularités	Limites du CS6
Débit d’absorption spécifique (DAS)	Ensemble du corps	0,08 W/kg
	Tête, cou, tronc (pour 1 g de tissu)	1,6 W/kg
Densité de puissance	Durée de mesure : 6 minutes	10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$

Source : Santé Canada, 2009

6. RÉSUMÉ DES MESURES DE RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI ET COMPARAISON AVEC LES NORMES CANADIENNES

Lorsque la technologie Wi-Fi est utilisée, l’exposition aux RF des utilisateurs provient de la borne Wi-Fi et de l’appareil électronique utilisé (ordinateur, téléphone cellulaire, console de jeux, etc.). Différentes études récentes ont documenté cette exposition aux RF dans le cas particulier du milieu scolaire. Nous présentons ci-dessous les résultats de trois études récemment réalisées par ou pour des organismes gouvernementaux. Les résultats présentés sont les densités de puissance moyenne mesurées pendant 6 minutes, telles que le recommande le CS6, et sont comparées avec la norme de 10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. L’annexe 1 présente un peu plus de détails méthodologiques sur ces études.

Industrie Canada a mesuré les RF à 12 endroits d’une salle équipée de 2 bornes Wi-Fi et 24 ordinateurs portables en fonctionnement (Doria et al., 2012). Les auteurs de cette recherche ont mesuré des expositions moyennes sur 6 minutes de 10 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (à l’endroit de la salle le plus exposé aux RF et situé à 50 cm d’une des deux bornes Wi-Fi) et de 5 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (à un endroit central de cette pièce) (Tableau 3). De plus, Industrie Canada a constaté que le niveau maximal d’exposition aux RF mesuré à 20 cm d’une borne Wi-Fi fonctionnant en continu représentait tout au plus 10,59% de la limite du CS6 (voir annexe 1).

Dans cette étude, les bornes Wi-Fi sélectionnées fonctionnaient à une puissance plus élevée que la grande majorité des dispositifs Wi-Fi actuellement disponibles sur le marché canadien. Il y avait 2 bornes Wi-Fi pour desservir les ordinateurs de cette salle (dont l’une était modifiée pour fonctionner continuellement). De plus, les expositions moyennes présentées au Tableau 3 ont été mesurées lorsque tous les ordinateurs portables étaient en téléchargement, ce qui représente une activité plus élevée que la normale. Pour toutes ces raisons, les auteurs considèrent que les résultats obtenus dans cette étude sont probablement plus élevés que ce que donneraient des configurations équivalentes dans des établissements tels que les résidences, les écoles et les commerces. Ils considèrent que le niveau d’exposition aux RF pour un scénario typique où une personne est située à plusieurs mètres d’une borne et entourée d’autres usagers serait plusieurs milliers de fois sous les limites du CS6.

Dans une étude réalisée en Nouvelle-Zélande, les mesures d'exposition aux RF ont été prises à différentes distances (1 à 7 m) d'une borne Wi-Fi présente dans des classes de 2 écoles (Gledhill, 2014). L'exposition moyenne aux RF sur 6 minutes variait de 100 à 2 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ aux différents endroits d'une classe de l'école A, et de 200 à 700 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ aux différents endroits de la classe de l'école B. L'exposition moyenne aux RF sur 6 minutes mesurée à 30 cm de l'écran d'un ordinateur variait de 2 à 200 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ durant 60 minutes d'usage normal. Ces mesures de l'exposition aux RF pour les élèves sont toutes bien inférieures à la limite de 10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ du CS6.

Des chercheurs du Royaume-Uni ont procédé à des études en laboratoire et dans des écoles afin d'estimer l'exposition des élèves aux RF émises par la technologie Wi-Fi utilisée en classe (U.K.HPA, 2012). Dans un premier temps, ils ont considéré la valeur d'émission de RF la plus élevée provenant d'un ordinateur (22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ mesuré en laboratoire à 50 cm d'un ordinateur) ainsi que le cycle de travail le plus élevé mesuré en classe (1%). Ils ont ainsi estimé à 220 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ l'exposition moyenne sur 6 minutes d'un élève d'une classe de primaire ou de secondaire.

Les auteurs ont également élaboré un pire scénario : ils ont considéré que tous les 30 ordinateurs d'une classe transmettaient en même temps à la densité de puissance maximale mesurée à 50 cm d'un ordinateur (22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et avec le cycle de travail le plus élevé des ordinateurs (1%), ainsi que l'exposition moyenne maximale mesurée à 50 cm de la borne Wi-Fi (87 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et le cycle de travail le plus élevé de la borne Wi-Fi (12%). Le résultat de ce pire scénario invraisemblable est une exposition moyenne de l'utilisateur de 16 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, ce qui demeure 500 fois plus faible que la limite de 10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ du CS6.

Tableau 3. Niveaux d'exposition moyenne durant 6 minutes aux RF émises par la technologie Wi-Fi

Étude	Caractéristiques de l'évaluation de l'exposition aux RF	Densité de puissance ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
Industrie Canada	2 bornes et 24 ordinateurs en fonctionnement Mesure prise à l'endroit ayant montré la densité de puissance maximale instantanée la plus élevée et réalisée près d'une des 2 bornes	10 000
	2 bornes et 24 ordinateurs en fonctionnement (8 en téléchargement amont et 16 en téléchargement aval) ^a Mesure prise au centre de la pièce	5 600
EMF Services pour le ministère de la Santé de Nouvelle-Zélande	1 borne et plusieurs ordinateurs en fonctionnement (école A) Mesures faites à des distances variant de 2 à 7 m de la borne	100 à 2 000
	1 borne, 5 ordinateurs et 5 iPads en fonctionnement (école B) Mesures faites à 35-80 cm des appareils électroniques	200 à 700
	Usage normal dans une classe : cycle de travail de 0,8 à 4% lors d'un téléchargement et 0,1% le reste du temps (école B) Mesures à 30 cm de l'écran de l'ordinateur	2 à 200
United Kingdom Health Protection Agency	Émission la plus élevée d'un ordinateur (22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et cycle de travail le plus élevé parmi 146 ordinateurs dans des classes (1%) Mesure à 50 cm d'un portable	220
	Pire scénario considérant <i>i</i>) 30 ordinateurs émettant en même temps au maximum (22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$), <i>ii</i>) une borne Wi-Fi émettant à son maximum (87 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et <i>iii</i>) des cycles de travail les plus élevés parmi ceux mesurés (1% pour les ordinateurs et 12% pour la borne) Mesure à 50 cm de tous ces appareils	16 600
Norme du Code de sécurité 6		10 000 000

Sources : Doria et al., 2012; U.K.HPA, 2012; Gledhill, 2014

^a amont : téléchargement de l'ordinateur à la borne; aval : téléchargement de la borne à l'ordinateur

7. COMPARAISON ENTRE L'EXPOSITION AUX RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI ET CELLE ATTRIBUABLE AUX AUTRES SOURCES DE RF

Les sources d'exposition aux RF sont diverses et présentes dans tous les milieux. Des mesures des niveaux moyens de RF réalisées au Québec dans 23 demeures et 34 lieux publics indiquent qu'il existe une plus grande densité de RF dans les environnements plus densément peuplés (Tableau 4) (Polytechnique de Montréal, 2012).

A l'extérieur, la densité de puissance moyenne de RF est plus élevée à Montréal ($300 \mu\text{W}/\text{m}^2$) qu'en banlieue ($100 \mu\text{W}/\text{m}^2$) et qu'en campagne ($50 \mu\text{W}/\text{m}^2$). En milieu urbain, on peut mesurer, à certains endroits, des densités de puissance moyenne de l'ordre de $3\,000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ dans la rue et dans les parcs.

A l'intérieur, les niveaux moyens de RF mesurés dans les édifices à bureaux ($700 \mu\text{W}/\text{m}^2$) sont plus importants qu'à l'intérieur des condos et des appartements ($300 \mu\text{W}/\text{m}^2$), et qu'à l'intérieur des résidences unifamiliales ($100 \mu\text{W}/\text{m}^2$). Les niveaux de RF mesurés à l'intérieur des maisons proviennent majoritairement de sources de l'environnement extérieur (antennes de téléphonie cellulaire (37%), antennes de radio FM (34%) et antennes de télévision (6%)) comparativement aux appareils que nous utilisons à l'intérieur (réseau sans fil (23%)).

Enfin, la densité de puissance moyenne mesurée à proximité des réseaux Wi-Fi (300 et $950 \mu\text{W}/\text{m}^2$) peut être semblable à celle mesurée à proximité de certains appareils ($700 \mu\text{W}/\text{m}^2$ près d'un cellulaire en conversation ou $2\,200 \mu\text{W}/\text{m}^2$ près d'un four à micro-ondes).

Tableau 4. Densité de puissance moyenne mesurée dans différents environnements et à proximité d'appareils électroniques

Description de l'environnement	Densité de puissance moyenne ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Références
Niveau moyen à l'extérieur en campagne	50	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau moyen à l'extérieur en banlieue	100	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau moyen à l'extérieur en ville	300	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau moyen à l'intérieur d'une maison unifamiliale	100	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau moyen à l'intérieur d'un condo/appartement	300	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau moyen à l'intérieur d'un édifice à bureaux	700	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau mesuré dans la rue (milieu urbain)	3 300	Polytechnique de Montréal, 2012
Niveau mesuré dans des parcs (milieu urbain)	3 600	Polytechnique de Montréal, 2012
A proximité d'un téléphone cellulaire en conversation	700	CRIQ, 2012
A proximité d'un four à micro-ondes en marche	2 200	CRIQ, 2012
A proximité d'un ordinateur relié à routeur Wi-Fi	950	CRIQ, 2012
A 30 cm d'un routeur Wi-Fi	300	Polytechnique de Montréal, 2012

L'arrivée des « dosimètres », des appareils qu'on porte sur soi et qui mesurent en continu les densités de puissance de RF tout en distinguant les différentes sources de RF, a permis d'obtenir des données sur l'exposition moyenne du public aux RF tout au long de la journée. Une étude européenne réalisée à l'aide de dosimètres portés par 98 volontaires durant 24 heures a observé une exposition moyenne aux RF durant 24 heures de 180 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, en excluant l'usage personnel du téléphone cellulaire (Bolte et Eikelboom, 2012).

Une autre étude menée dans 5 pays européens a suivi des sujets pendant 7 jours alors qu'ils se déplaçaient dans leur environnement habituel (Tableau 5) (Joseph et al, 2010 cités par Foster et Moulder, 2013). L'exposition aux RF la plus importante provenait du téléphone cellulaire - en excluant les appels que les sujets faisaient eux-mêmes, sinon les valeurs d'exposition moyenne aux RF auraient été beaucoup plus élevées. Les principales sources d'exposition aux RF étaient le téléphone cellulaire des personnes situées autour du sujet (50 – 900 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et les antennes de téléphonie cellulaire (20 – 200 $\mu\text{W}/\text{m}^2$). La technologie Wi-Fi contribuait à une petite fraction des RF ambiantes de l'environnement, soit des niveaux (1 – 8 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) plus faibles ou semblables à ceux provenant des téléphones sans fil (1 – 50 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) ou des communications radio FM (10 – 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et de la télévision (5 – 20 $\mu\text{W}/\text{m}^2$).

Tableau 5. Exposition moyenne aux RF mesurée à l'aide de dosimètres afin de déterminer les principales sources d'exposition aux RF en zones urbaines d'Europe^a

Technologies	Fréquences utilisées (MHz)	Étendue de l'exposition moyenne ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
Téléphonie cellulaire – signal à partir du téléphone des personnes situées autour du sujet	880 – 1 980 (plusieurs bandes)	50 – 900
Téléphonie cellulaire – signal à partir de l'antenne cellulaire	925 – 2 170 (plusieurs bandes)	20 – 200
Radio FM	88 – 108	10 – 20
Téléphone sans fil	1 880 – 1 900	1 – 50
Télévision	174 – 830 (plusieurs bandes)	5 – 20
Wi-Fi	2 400 – 2 475 (quelques fois 5 200 – 5 800)	1 - 8

Source : Joseph et al., 2010 rapporté par Foster et Moulder, 2013

^a Les mesures ont été effectuées à l'extérieur, dans des bureaux, des trains, automobiles et autobus, ainsi qu'à la maison.

8. CONCLUSION SUR LES RISQUES À LA SANTÉ ASSOCIÉS AUX RF ÉMISES PAR LA TECHNOLOGIE WI-FI

Les résultats des plus récentes études réalisées par ou pour des autorités gouvernementales ont démontré que l'exposition des utilisateurs de Wi-Fi aux radiofréquences (RF) émises par cette technologie demeure bien inférieure aux normes du Code de sécurité 6 établies par Santé Canada afin de protéger la santé. Même lorsque l'activité des bornes Wi-Fi est forcée au maximum ou que la mesure est réalisée à 20 cm de ces bornes, alors qu'elles sont installées au plafond des locaux des écoles de la CSDM, le niveau d'exposition aux RF demeure inférieur aux normes canadiennes.

Les effets potentiels des RF sur la santé ont fait l'objet de milliers d'études, tant au niveau des cellules, chez l'animal et chez l'humain. Des organismes de santé internationaux analysent ensuite périodiquement les résultats de ces études afin de ne retenir que celles qui présentent des méthodologies rigoureuses et celles dont les résultats ont été confirmés par plusieurs autres études indépendantes qui possédaient une méthodologie similaire. Les analyses critiques faites récemment par ces organismes de santé internationaux concluent qu'à ce jour, des niveaux de RF inférieurs aux normes n'ont pas démontré d'effets néfastes sur la santé.

En ce qui concerne le cancer, ces organisations ont établi qu'il n'y a pas d'évidence que les RF puissent causer des dommages génétiques ou augmenter la probabilité que les cellules exposées aux RF deviennent malignes. Les résultats des études animales ont montré invariablement qu'il n'y a aucune augmentation du risque de cancer suite à une exposition prolongée aux RF. Chez l'humain, les études n'ont pas démontré d'augmentation du risque de cancer du cerveau en relation avec l'utilisation du téléphone cellulaire sur une période supérieure à 10 ans. Quelques signes d'un risque accru de gliome ont été observés dans certaines études chez les 10% d'utilisateurs utilisant le plus leur téléphone, mais des biais et des erreurs méthodologiques pourraient expliquer ces observations. C'est sur cette base que le *Centre international de Recherche sur le Cancer* a classé les RF dans la catégorie des « cancérogènes possibles pour l'homme », catégorie dans laquelle on retrouve, entre autres, le café et les légumes marinés.

Finalement, les organismes de santé internationaux considèrent que jusqu'à présent, la recherche n'a pas pu fournir de données qui démontreraient une relation de cause à effet entre l'exposition aux RF et les symptômes rapportés par les personnes qui disent présenter une « hypersensibilité électromagnétique ».

Compte tenu d'une part, des niveaux d'exposition aux RF attribuables à la technologie Wi-Fi et d'autre part, des résultats des études scientifiques rigoureuses portant sur les effets des RF sur la santé, l'utilisation du Wi-Fi dans les écoles primaires ne constitue pas un risque pour la santé des enseignants ni celle des élèves.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Alberta Government, 2012. WiFi in schools, electromagnetic fields and cell phones - Alberta Health Fact Sheet. Government of Alberta, www.health.alberta.ca/documents/WiFi-In-Schools-2012.pdf.
- ANSES, 2013. Radiofréquences et santé - Mise à jour de l'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail France. 461 pages, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/134000692/index.shtml>.
- Bolte, J. F. et Eikelboom, T., 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: 133-42.
- CIRC, 2014. Agents classés par les monographies du CIRC, volume 1 à 110. Centre international de Recherche sur le Cancer, <http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/index.php>.
- CRIQ, 2012. Niveaux d'émission de radiofréquences - Densité de puissance moyenne mesurée à proximité d'appareils domestiques d'usage courant. Centre de Recherche Industriel du Québec et Hydro-Québec, <http://compteurs.hydroquebec.com/la-technologie/>.
- Doria, J. et al., 2012. Étude de cas: Mesures de l'exposition aux radiofréquences dues aux dispositifs Wi-Fi. Industrie Canada. 39 pages, <http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10383.html>.
- Findlay, R. P. et Dimbylow, P. J., 2010. SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). *Physics in Medicine and Biology*, 55: 405-11.
- Foster, K. R. et Moulder, J. E., 2013. Wi-Fi and health: review of current status of research. *Health Physics*, 105: 561-75.
- Gledhill, M., 2014. Exposures to radiofrequency fields from WiFi in New Zealand schools. EMF services - Professional EMF measurement and advisory services - Report prepared for Ministry of Health. 24 pages, <http://www.health.govt.nz/publication/snapshot-study-wifi-in-schools>.
- Grange, D., Host, S., et Grémy, I., 2009. Radiofréquences, santé et société. Observatoire régional de santé d'Île-de-France. 12 pages, <http://www.sante-iledefrance.fr/radiofréquences-sante-et-societe/>.
- Hydro-Québec, 2012. Les radiofréquences et les compteurs de nouvelle génération. www.hydroquebec.com/residentiel/nouveau-compteur/radiofréquences.html.
- Industrie Canada, 2009. Tableau canadien d'attribution des bandes de fréquences de 9 kHz - 275 GHz - Édition 2009. [www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/cane2009edition-fra.pdf/\\$FILE/cane2009edition-fra.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/vwapj/cane2009edition-fra.pdf/$FILE/cane2009edition-fra.pdf).
- Khalid, M. et al., 2011. Exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless computer networks: Duty factors of Wi-Fi devices operating in schools. *Progress in biophysics and Molecular biology*, 107: 412-20.
- OMS, 2014. Champs électromagnétiques et santé publique: téléphones portables. Organisation mondiale de la santé, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/fr/>.
- Peyman, A. et al., 2011. Assessment of exposure to electromagnetic fields from wireless computer networks (Wi-Fi) in schools; results of laboratory measurements. *Health Physics*, 100: 594-612.

Polytechnique de Montréal, 2012. Champs électromagnétiques radiofréquences: des mesures bien en deçà des normes. Protégez-vous, www.polymtl.ca/carrefour/article.php?no=4021.

Public Health Ontario, 2014. Your health: Wi-Fi safety. <http://www.publichealthontario.ca/fr/Qui-sommes-nous/Quoideneuf/Pages/Your-health-Wi-Fi-safety.aspx>.

Santé Canada, 2009. Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300GHz - Code de sécurité 6. Santé Canada. 30 pages, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/radio_guide-lignes_direct-fra.php.

Santé Canada, 2013. Système Wi-Fi. Santé Canada, <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/radiation/cons/wifi/index-fra.php>.

Société royale du Canada, 2014. Examen de Code de sécurité 6 : Risques potentiels pour la santé humaine associés aux champs de radiofréquences produits par les dispositifs de télécommunications sans fil. 164 pages, <https://rsc-src.ca/fr/groupes-dexperts/src-rapports/examen-de-code-de-s%C3%A9curit%C3%A9-6-risques-potentiels-pour-la-sant%C3%A9-humaine>.

U.K.HPA, 2012. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. United Kingdom Health Protection Agency - Advisory Group on Non-Ionising Radiation. 333 pages, <http://wifiinschools.org.uk/resources/HPAmobile2012.pdf>.

ANNEXE 1. DÉTAIL DES MESURES DES RF DANS DES LOCAUX AVEC WI-FI

Industrie Canada, 2012 : Étude de cas : Mesures de l'exposition aux radiofréquences dues aux dispositifs Wi-Fi

Afin de simuler les conditions d'exposition aux RF émises par la technologie Wi-Fi présente dans des écoles, hôpitaux, bibliothèques, etc., Industrie Canada a installé 2 bornes Wi-Fi (dont une fonctionnait 100% du temps, ce qui représente un usage beaucoup plus élevé que la normale) et 24 ordinateurs portables dans une pièce de 52 m² (Figure 3) (Doria et al., 2012)⁷.

Douze (12) points de mesure ont été choisis dans cette salle (P1 à P12), dont deux étaient situés très près des deux bornes Wi-Fi. Les mesures ont été prises en balayages (50 à 70) d'une durée d'environ 1,2 seconde chacun (durée totale : ≈1 minute), et sur une période de 6 minutes (afin d'être comparées aux normes du CS6). Les résultats étaient présentés en % des limites du CS6 que nous avons transformés en densité de puissance lorsque c'était possible (p.e., 0,01% de 10 000 000 µW/m² représente 10 000 µW/m²).

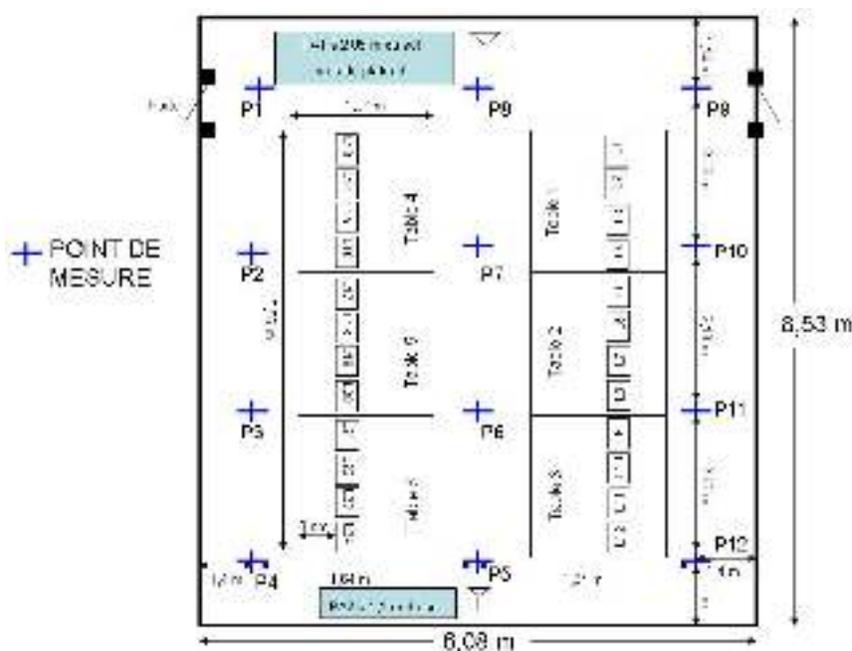


Figure 3. Plan de la salle avec les deux bornes Wi-Fi (PA1 et PA2), les 24 ordinateurs portables (L1 à L24) et les 12 points de mesure (P1 à P12)

⁷ La borne Wi-Fi PA1 (5 180 MHz) configurée pour émettre en continu à une puissance de 0,25 W (qui représente le pire scénario d'exposition par ce point d'accès Wi-Fi) a été installée au plafond tandis que la borne Wi-Fi PA2 (2 437 MHz) fonctionnait normalement à une puissance de 0,25 W et a été déposée sur une table à environ 1,1 m de hauteur. Selon les auteurs de cette étude, ces deux bornes Wi-Fi fonctionnaient à une puissance plus élevée que la grande majorité des routeurs Wi-Fi actuellement disponibles sur le marché canadien.

Le Tableau 6 présente les résultats les plus significatifs de cette étude. Les deux premiers résultats présentent les niveaux d'exposition aux RF mesurés entre 50 et 6 000 MHz lorsque ni les bornes Wi-Fi ni les ordinateurs portables ne fonctionnaient. Lors des balayages réalisés à 1,75 m de hauteur durant environ 1 minute, le niveau moyen d'exposition aux RF mesuré au point P6 était de 0,003% des limites du CS6 tandis que la valeur instantanée la plus élevée mesurée au même endroit représentait 0,013% des limites du CS6 (scénario 1a). Le niveau moyen d'exposition aux RF enregistré durant 6 minutes à 1,25 m de hauteur au point P11 était de 0,003% des limites du CS6 (scénario 2a). Ces valeurs représentent les niveaux d'exposition aux RF provenant d'autres appareils utilisant les fréquences comprises entre 50 et 6 000 MHz et situés à l'extérieur de la salle d'expérimentation (TV, radio FM, aéronautique, radar, autres appareils utilisant le Wi-Fi, services cellulaires, etc.).

Les résultats suivants présentent les niveaux d'exposition aux RF (2 400 à 5 825 MHz) lorsque tous les dispositifs Wi-Fi étaient en fonction. Les niveaux moyens d'exposition aux RF mesuré durant 1 minute à 1,75 m de hauteur aux 12 points variaient de 2 600 à 23 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (scénario 1b) et ceux mesurés à 1,25 m de hauteur aux mêmes points variaient de 2 800 à 23 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (scénario 2b), lorsque tous les portables étaient en mode de téléchargement aval (i.e. de la borne à l'ordinateur). Le niveau moyen d'exposition aux RF mesuré durant 6 minutes au point d'échantillonnage P5 et à 9 endroits du corps humain était de 10 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (scénario 3b); soulignons que P5 était situé à moins de 50 cm de la borne PA2. Le scénario 5b a mesuré un niveau moyen d'exposition aux RF durant 6 minutes de 5 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ au centre de la pièce (P7) et à 1,25 m de hauteur lorsque les deux bornes fonctionnaient, que 8 ordinateurs téléchargeaient en amont (i.e. de l'ordinateur à la borne) et 16 autres en aval (scénario 5b).

Tableau 6. Mesure des RF dans la salle d'Industrie Canada avec 2 bornes Wi-Fi et 24 ordinateurs portables

Scénario	Bande de fréquences	Dispositifs Wi-Fi en fonctionnement	Endroit de mesure	Hauteur de mesure	Durée totale	% des limites du CS6	Densité de puissance ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
1a	50-6 000 MHz	aucun	tous les points	1,75 m	≈ 1 minute	moy: 0,003% max: 0,013%	-
3a	50-6 000 MHz	aucun	P11	1,25 m	6 minutes	moy: 0,003%	-
1b	2 400-5 825 MHz	PA1, PA2, 24 ordinateurs	P1 à P12	1,75 m	≈ 1 minute	moyennes: 0,026% à 0,232%	2 600 à 23 000
2b	2 400-5 825 MHz	PA1, PA2, 24 ordinateurs aval	P1 à P5	1,25 m	≈ 1 minute	moyennes: 0,028% à 0,234%	2 800 à 23 000
3b	2 400-5 825 MHz	PA1, PA2, 24 ordinateurs aval	Max au P5	9 points du corps humain	6 minutes	moy: 0,099%	10 000
5b	2 400-5 825 MHz	PA1, PA2 8 ordinateurs amont 16 ordinateurs aval	P7 centre de la pièce	1,25 m	6 minutes	moy: 0,056%	5 600
Norme du CS6 pour les appareils Wi-Fi							10 000 000

Des mesures prises à 20 cm des bornes Wi-Fi indiquent que le niveau maximal d'exposition aux RF durant environ 1 minute était de 10,59% du CS6 pour la borne PA1 et de 7,75% des limites du CS6 pour la borne PA2 (non présenté).

En résumé, le niveau d'exposition aux RF mesuré selon les exigences d'IC serait au plus de 10 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, soit 1 000 fois sous la norme canadienne lorsque deux bornes Wi-Fi fonctionnaient (dont l'une était située à moins de 50 cm du point de mesure) et 24 ordinateurs téléchargeaient simultanément un fichier de grande taille. Selon les auteurs de cette étude, le niveau d'exposition aux RF pour un scénario typique où une personne est située à plusieurs mètres d'une borne et entourée d'autres usagers serait plutôt plusieurs milliers de fois sous les limites du CS6 (Doria et al., 2012).

Étude en Nouvelle-Zélande, 2014 : Exposures to radiofrequency fields from WiFi in New Zealand schools

Des mesures de l'exposition aux RF émises par des dispositifs Wi-Fi ont été réalisées directement dans 2 écoles de la Nouvelle-Zélande pendant les activités scolaires normales (Gledhill, 2014)⁸.

⁸ Dans cette étude, les bornes émettaient dans les fréquences de 2 400 MHz. L'auteur estime que la contribution des fréquences d'environ 5 000 MHz représente environ 10% de l'exposition due aux fréquences de 2 400 MHz.



Les mesures d'exposition aux RF ont été réalisées à plusieurs endroits de 5 locaux de l'école A et d'une classe de l'école B. Ces mesures représentaient la situation réelle dans ces écoles; on retrouvait généralement une borne Wi-Fi installée à une hauteur de 2 mètres dans la classe ainsi qu'un certain nombre d'ordinateurs portables utilisés par les élèves (Figure 4). La sonde de l'appareil de mesure des RF était installée à 90 cm de hauteur pour représenter l'exposition des élèves lorsqu'ils sont assis à leur pupitre. L'exposition moyenne durant 6 minutes et l'exposition maximum instantanée étaient mesurées et comparées aux limites de référence de la Nouvelle-Zélande (semblables aux limites du CS6).

Figure 4. Exemple type des mesures effectuées dans les locaux des 2 écoles

Dans une classe de l'école A, l'exposition moyenne aux RF durant 6 minutes variait de 100 à 2 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (0,001 à 0,02% des limites de référence)⁹ tandis que l'exposition instantanée maximale variait de 1 000 à 20 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ en fonction de la distance de la borne Wi-Fi (de 2 m à 7 m) (graphique de gauche de la Figure 5). Des mesures prises dans la même classe, à 2 m de la borne Wi-Fi et à différents moments d'un après-midi ont montré une exposition moyenne sur 6 minutes variant de 750 à 2 500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ et une exposition instantanée maximale variant de 9 000 à 20 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (graphique de droite de la Figure 5). D'autres mesures prises à environ 2 m de la borne Wi-Fi et à une distance d'utilisation des portables lorsque les élèves les utilisaient et lorsqu'ils ne les utilisaient pas (non montrées ici) étaient du même ordre de grandeur que les mesures indiquées à la Figure 5.

⁹ 0,001% de la limite de 10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ pour les fréquences de 2 400 à 5 875 MHz représente une densité de puissance de 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

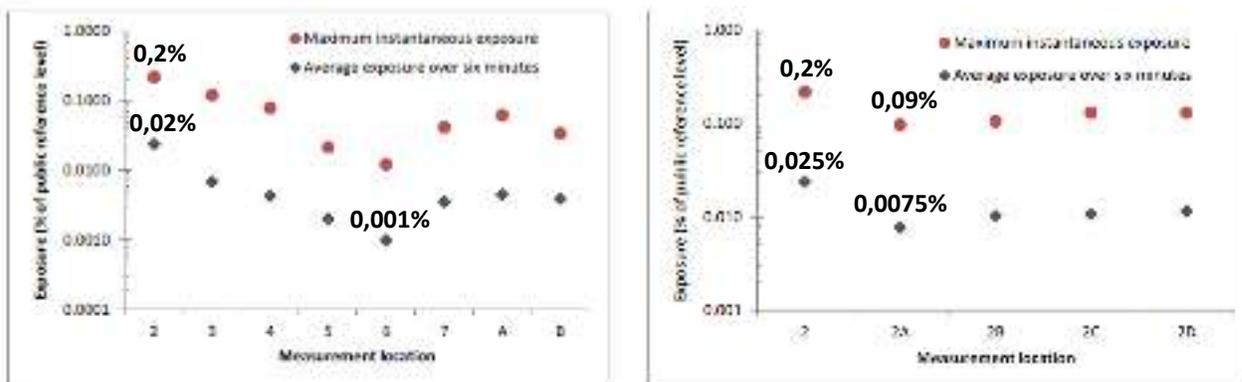


Figure 5. Exposition aux RF dans une classe de l'école A

Le graphique de gauche représente l'exposition aux RF dans une classe de l'école A en fonction de la distance de la borne Wi-Fi (2 à 7 m). Le graphique de droite représente l'exposition aux RF de la même classe à 2 m de la borne Wi-Fi et à différents moments de l'après-midi (*Measurement location* 2 : tous les élèves utilisent leur ordinateurs; 2A, 2B et 2C : aucun usage des ordinateurs; 2D : un gros fichier est téléchargé de la borne Wi-Fi vers les ordinateurs).

D'autres mesures ont été faites dans d'autres locaux de cette école A (des classes et la réception). L'exposition moyenne sur 6 minutes variait de 8 à 400 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ tandis que l'exposition instantanée maximale aux RF variait 70 à 1 500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Des mesures prises dans une classe de l'école B à des distances de 1 à 7 m de la borne Wi-Fi ont donné des résultats très semblables à celles de l'école A (graphique de gauche de la Figure 6). Dix (10) appareils électroniques (5 ordinateurs portables et 5 iPads) étaient en téléchargement et les mesures étaient prises à des distances de 35 à 80 cm de ces appareils. L'exposition moyenne aux RF sur 6 minutes variait alors de 200 à 700 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ tandis que l'exposition instantanée maximale variait de 3 000 à 25 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.

Finalement, les mesures de l'exposition moyenne aux RF sur 6 minutes à un poste d'ordinateur dans la même classe variaient de 2 à 200 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ pendant 60 minutes (ligne verte du graphique de droite de la Figure 6). Au cours de cette heure, le « cycle de travail » (la fraction de temps durant laquelle les ordinateurs et la borne Wi-Fi se transmettaient de l'information) a été plus important durant les premières minutes de la mesure et à partir d'environ 35 minutes du début de la mesure car un téléchargement à 25 MBytes était fait de façon à maintenir la connexion entre l'ordinateur et la borne Wi-Fi aussi occupée que possible. Le cycle de travail variait alors de 0,008 à 0,04 (i.e. la transmission entre les appareils se faisait pendant 0,8 - 4% du temps) tandis qu'il variait autour de 0,001 le reste du temps ($\approx 0,1\%$ du temps).



Figure 6. Exposition aux RF dans une classe de l'école B

Le graphique de gauche présente l'exposition aux RF dans une classe de l'école B en fonction de la distance de la borne Wi-Fi (1 à 7 m) avec appareils électroniques actifs et non-actifs (les pourcentages des normes sont représentés uniquement lorsque ces appareils téléchargeaient des données). Le graphique de droite présente l'exposition aux RF émises par un ordinateur portable pour l'utilisateur ainsi que le cycle de travail des transmissions Wi-Fi durant 60 minutes d'utilisation.

Étude au Royaume-Uni, 2012 : Wi-Fi in schools : Results of an HPA study

Des chercheurs du United Kingdom Health Protection Agency ont procédé à des études en laboratoire et dans des écoles afin d'estimer l'exposition des élèves exposés aux RF émises par les bornes Wi-Fi et les portables (U.K.HPA, 2012).

La première partie de cette étude a consisté à mesurer en laboratoire la densité de puissance à 0,5 m et à 1 m de 12 bornes Wi-Fi et de 15 ordinateurs portables qui fonctionnaient à leur maximum (Peyman et al., 2011). Le Tableau 7 présente la valeur maximale des densités de puissance mesurées à tous ces dispositifs : 87 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ à 0,5 m d'une borne Wi-Fi et 22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ à 0,5 m d'un ordinateur portable.

Tableau 7. Estimation de l'exposition maximale aux RF émises par des bornes Wi-Fi et des ordinateurs portables en fonctionnement maximal en laboratoire

Étude	Équipement	Fréquence	Distance	Valeur maximale des densités de puissance mesurées ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
En laboratoire	12 bornes Wi-Fi en fonctionnement maximal	Les fréquences 2 400 MHz et 5 000 MHz ont présenté des résultats semblables	0,5 m	87 000
			1 m	18 000
			1,9 m	220
	15 ordinateurs Wi-Fi en fonctionnement maximal	Les fréquences 2 400 MHz et 5 000 MHz ont présenté des résultats semblables	0,5 m	22 000
1 m	4 000			
Norme du CS6				10 000 000

Source : Peyman et al., 2011

Les scientifiques ont également calculé l'exposition aux RF en termes de débit d'absorption spécifique (DAS) lors de l'utilisation d'un ordinateur portable relié à un réseau Wi-Fi pour un enfant de 10 ans, en considérant un cycle de travail de 10% et un autre de 100% (Tableau 8) (Findlay et Dimbylow, 2010). La DAS serait de l'ordre de 1 800 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (tête) et de 3 990 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (torse) pour une transmission Wi-Fi de 10% entre

un ordinateur portable et une borne Wi-Fi. En supposant une transmission Wi-Fi de 100%, la DAS serait de 5 700 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (tête) pour un ordinateur portable; cette exposition représente moins de 1% de la DAS émise lors de l'usage d'un téléphone cellulaire durant 100% du temps (1 430 000 $\mu\text{W}/\text{kg}$) et de la norme du CS6 (1 600 000 $\mu\text{W}/\text{kg}$).

Tableau 8. Mesure de l'exposition aux RF émises par le Wi-Fi à partir de modélisations en laboratoire et de mesures en classes

Étude	Équipement	Puissance	Fréquence	Distance entre l'appareil et l'utilisateur	Particularités	Mesure de l'exposition ($\mu\text{W}/\text{kg}$)
Modélisation avec des cycles de travail de 10% et 100%	Ordinateur portable	100 mW	2,4 GHz	34 cm	Cycle de travail de 10%	3 990 (torse)
	Ordinateur portable	100 mW	2,4 GHz	31 cm	Cycle de travail de 10%	1 800 (tête)
	Ordinateur portable	100 mW	2,4 GHz	≈ 30 cm	Cycle de travail de 100%	5 700 (tête)
	Téléphone cellulaire	125 mW	1,8 GHz	2,2 cm de l'oreille	Cycle de travail de 100%	1 430 000
Norme du CS6						1 600 000

Source : Findlay et Dimbylow, 2010

Toutefois, les valeurs maximales de densité de puissance de Peyman et al (2011) et de débit d'absorption spécifique de Findlay et Dimbylow (2010) ont été mesurées en laboratoire et ne représentent pas la réalité du milieu scolaire. C'est pourquoi Khalid et al (2011) ont mesuré les cycles de travail réels des bornes Wi-Fi et des ordinateurs portables dans 6 écoles primaires et secondaires pendant les périodes de classes. Ils ont observé que les cycles de travail de 146 ordinateurs portables individuels variaient de 0,02 à 0,96% (moyenne de 0,08%) tandis que ceux des bornes de 7 réseaux Wi-Fi variaient de 1,0 à 11,7%¹⁰ (moyenne de 4,79%).

En considérant les densités de puissance et les débits d'absorption spécifiques mesurés en laboratoire à proximité des dispositifs Wi-Fi, ainsi que la proportion du temps pendant lequel ces dispositifs s'échangent des données (mesurée dans les classes), les chercheurs du U.K.HPA ont pu estimer l'exposition aux RF émises par l'utilisation de la technologie Wi-Fi pour des élèves pendant leur période de classe (Tableau 9). A partir de la valeur d'exposition la plus élevée mesurée par Findlay et Dimbylow (2010) et le cycle de travail le plus élevé pour l'ordinateur mesuré par Khalid et al. (2011), la DAS mesurée à 50 cm de l'ordinateur serait de 400 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (torse) et de 80 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (torse) selon que la puissance de l'antenne est de 0,100 W ou 0,020 W; ces valeurs sont beaucoup plus faibles que la norme de 1 600 000 $\mu\text{W}/\text{kg}$ du CS6.

¹⁰ Cela signifie qu'il y avait transmission de données entre 36 secondes (1,0%) et 7 minutes (11,7%) à l'heure.

En considérant la densité de puissance maximale mesurée en laboratoire par Peyman et al. (2011) et le cycle de travail le plus élevé pour l'ordinateur mesuré en classes par Khalid et al. (2011), la densité de puissance moyenne serait de 220 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Les auteurs ont également élaboré un pire scénario : ils ont considéré que tous les 30 ordinateurs d'une classe transmettaient en même temps à la densité de puissance maximale mesurée à 50 cm d'un ordinateur (22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et avec le cycle de travail le plus élevé des ordinateurs (1%); l'exposition des élèves en termes de densité de puissance serait de 6 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. En y ajoutant l'exposition moyenne maximale mesurée à 50 cm de la borne Wi-Fi (87 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) et le cycle de travail le plus élevé de la borne Wi-Fi (12%), le résultat de ce pire scénario improbable serait une exposition moyenne de l'utilisateur de 16 600 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, ce qui demeurerait 500 fois plus faible que la limite de 10 000 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ du CS6.

Tableau 9. Estimation de l'exposition aux RF des élèves du primaire et du secondaire en termes de débit d'absorption spécifique et de densité de puissance

Étude	Situation	Caractéristiques	Mesure de l'exposition	
			Débit d'absorption spécifique ($\mu\text{W}/\text{kg}$)	Densité de puissance moyenne ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
Estimation de l'exposition des élèves	Exposition près d'un ordinateur	Mesure de l'exposition la plus élevée (3 990 $\mu\text{W}/\text{kg}$ (torse) et 22 000 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) Cycle de travail le plus élevé pour l'ordinateur (1%) Mesure à 50 cm de l'ordinateur	400 (torse) ^a 80 (torse) ^b	220
	Pire scénario	Mesure de l'exposition la plus élevée d'un ordinateur (pour 30 ordinateurs dans la classe) et d'une borne Wi-Fi émettant à leur maximum Cycles de travail les plus élevés pour les ordinateurs et la borne Wi-Fi Mesure à 50 cm de tous ces appareils	-	6 600 ^c 16 600 ^d
Norme du CS6			1 600 000	10 000 000

Source : Khalid et al., 2011

^a Basé sur une puissance d'antenne de 0,100 W

^b Basé sur une puissance d'antenne de 0,020 W (puissance mesurée)

^c Basé sur l'émission de RF de 30 ordinateurs (à 50 cm)

^d Basé sur l'émission de RF de 30 ordinateurs et d'une borne Wi-Fi (à 50 cm)

*Agence de la santé
et des services sociaux
de Montréal*

Québec 