



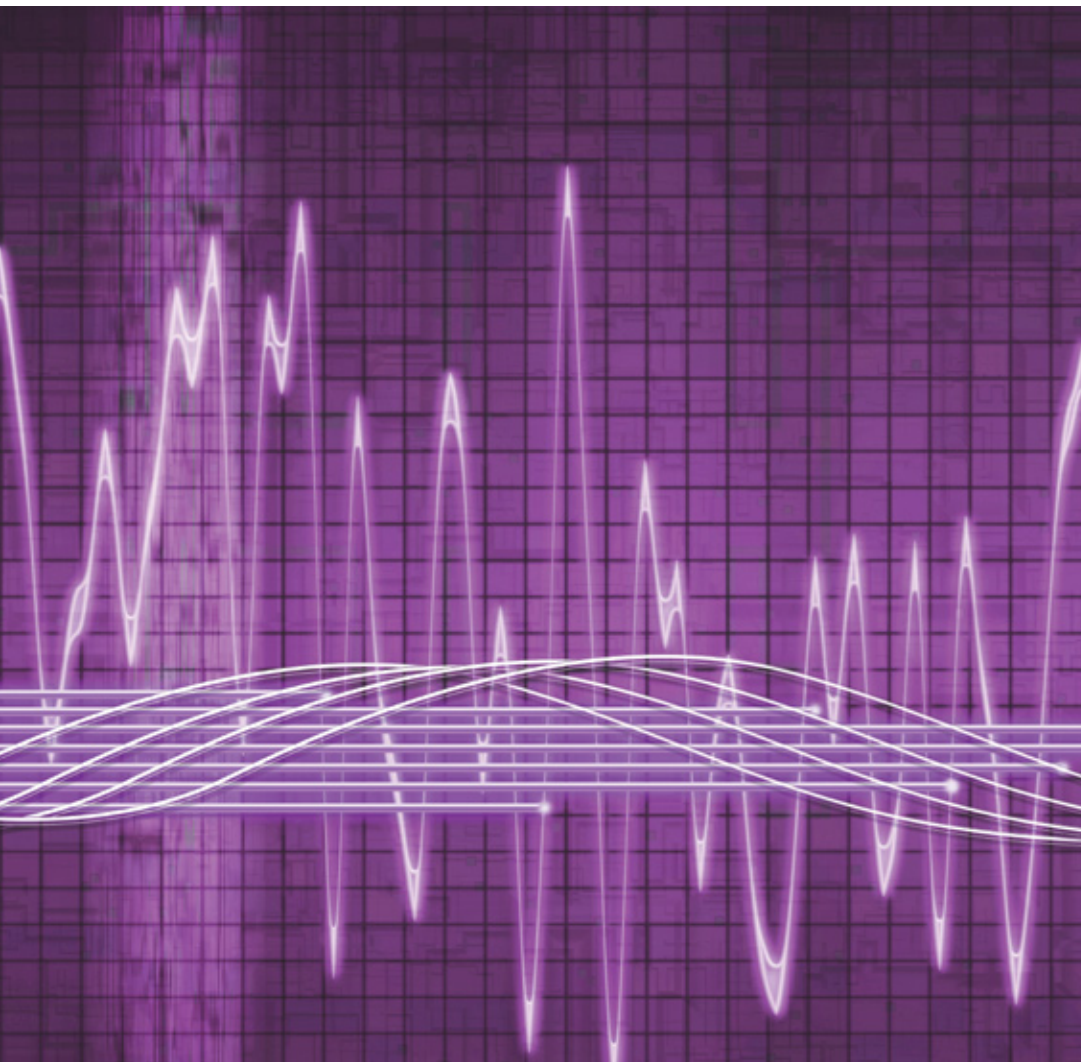
Santé
Canada Health
Canada

*Votre santé et votre
sécurité... notre priorité.*

*Your health and
safety... our priority.*

Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz

Code de sécurité 6 (2009)



Canada

Errata

Section 2.3, page 20

« Pour les fréquences comprises entre 3 kHz et 100 kHz, la moyenne temporelle pour les courants induits et de contact doit se calculer sur une période de 1 seconde (section 2.1.2). Pour les fréquences supérieures à 100 kHz et allant jusqu'à 15 000 MHz, il faut la calculer en tenant compte du fait que les restrictions de base de ce code visent à limiter l'accroissement de la température dans les tissus. L'accroissement de la température dans les tissus vivants en raison de l'absorption d'énergie radioélectrique suit un modèle bien défini avec une constante de temps d'environ 6 minutes (constante de temps thermique), ~~67%~~ **63 %** de l'accroissement de la température en régime permanent se produisant sur une période de 6 min. La moyenne temporelle autorise des expositions supérieures aux limites définies aux sections 2.1 et 2.2 pour de courtes périodes, pourvu que l'énergie totale absorbée pendant toute période de 6 min ne dépasse pas le niveau d'énergie absorbée lors d'une exposition constante (sans variation dans le temps) selon les limites définies aux sections 2.1 et 2.2. Comme la moyenne temporelle est déterminée selon des facteurs liés à l'énergie absorbée, les intensités des champs électrique et magnétique doivent être élevées au carré avant l'application de la moyenne temporelle, tandis que la densité de puissance et le DAS sont appliqués directement. »

Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz

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

Santé Canada

Code de sécurité 6 (2009)

Santé Canada est le ministère fédéral qui aide les Canadiennes et les Canadiens à maintenir et à améliorer leur état de santé. Nous évaluons l'innocuité des médicaments et de nombreux produits de consommation, aidons à améliorer la salubrité des aliments et offrons de l'information aux Canadiennes et aux Canadiens afin de les aider à prendre de saines décisions. Nous offrons des services de santé aux peuples des Premières nations et aux communautés inuites. Nous travaillons de pair avec les provinces pour nous assurer que notre système de santé répond aux besoins de la population canadienne.

Publication autorisée par le ministre de la Santé.

Limites d'exposition humaine à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz est disponible sur Internet à l'adresse suivante :
www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/index-fra.php

Also available in English under the title:

Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic energy in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz.

La présente publication est également disponible sur demande sur disquette, en gros caractères, sur bande sonore ou en braille.

Pour obtenir plus de renseignements ou des copies supplémentaires, veuillez communiquer avec :

Publications
Santé Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0K9
Tél. : 613-954-5995
Télé. : 613-941-5366
Courriel : info@hc-sc.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de la Santé, 2009

Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire ou de transmettre l'information (ou le contenu de la publication ou du produit), sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, reproduction électronique ou mécanique, photocopie, enregistrement sur support magnétique ou autre, ou de la verser dans un système de recherche documentaire, sans l'autorisation écrite préalable du ministre de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0S5 ou copyright.droitdauteur@pwgsc.gc.ca.

SC Pub. : 091030
Cat. : H128-1/09-591F
ISBN : 978-1-100-92672-8

Avant-propos

Le présent document fait partie d'une série de codes de sécurité rédigés par le Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, de Santé Canada. Ces codes de sécurité spécifient les règles à observer pour l'utilisation sécuritaire des dispositifs émettant des rayonnements, et l'exposition sécuritaire à ces rayonnements. La présente révision remplace l'ancienne version du Code de sécurité 6 (99-DMH-237) publiée en 1999.

Le présent Code vise à établir des limites de sécurité pour l'exposition des personnes à l'énergie électromagnétique radioélectrique dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz. Ces limites s'appliquent à toutes les personnes qui travaillent ou sont en visite dans des emplacements réglementés par le gouvernement fédéral. Ces lignes directrices peuvent être adoptées par les provinces, l'industrie ou d'autres parties intéressées. Le ministère de la Défense nationale est tenu de respecter les exigences du présent code, sauf dans les cas où il juge que cela compromettrait ses activités touchant la formation et les opérations des Forces armées canadiennes. Le présent Code a été adopté comme fondement scientifique des spécifications de certification du matériel énoncées dans les documents de réglementation d'Industrie Canada⁽¹⁻³⁾ qui régissent l'utilisation au Canada des dispositifs sans fil, p. ex. téléphones cellulaires, tours de téléphonie cellulaire (stations de base) et antennes de radiodiffusion. Le Code de sécurité 6 ne s'applique pas à des expositions délibérées aux fins du traitement de patients par des médecins, ou sous la direction de médecins. Le Code de sécurité 6 n'est pas destiné à servir de document de spécification des performances de produits, car les limites qu'il présente visent à limiter l'exposition des personnes à l'énergie radioélectrique et sont indépendantes de la source de cette énergie.

Dans un domaine où la technologie progresse rapidement et où des problèmes imprévus et uniques peuvent survenir, le présent Code ne peut pas tenir compte de toutes les situations possibles. Par conséquent, les spécifications ci-incluses pourront nécessiter une interprétation dans des circonstances spéciales. Cette interprétation devrait se faire en consultation avec le personnel scientifique du Bureau de la protection contre les rayonnements des produits cliniques et de consommation, de Santé Canada.

Les limites d'exposition indiquées dans le présent Code se fondent sur un examen continu des études scientifiques publiées concernant les effets de l'énergie électromagnétique radioélectrique sur la santé. Le présent Code est révisé périodiquement pour tenir compte de l'évolution des connaissances diffusées dans les publications scientifiques, et les limites d'exposition pourront être modifiées au besoin.

Table des matières

1. Introduction	7
1.1 Objectifs du Code	8
2. Limites d'exposition maximales	9
2.1 Restrictions de base	11
2.1.1 Limites du débit d'absorption spécifique (DAS)	11
2.1.2 Limites des courants induits et de contact	12
2.2 Limites d'intensité des champs électriques et magnétiques	16
2.2.1 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé	19
2.3 Détermination de la moyenne temporelle	20
2.4 Détermination de la moyenne spatiale	22
Définitions	24
Bibliographie	26
Annexe I – Limites d'exposition maximales à l'énergie RF	29

1. Introduction

Les rayonnements électromagnétiques sont émis par de nombreuses sources naturelles et artificielles et font partie de notre quotidien. Nous pouvons sentir la chaleur produite par les rayonnements électromagnétiques émis par le soleil, et nos yeux sont sensibles à la partie visible du spectre des fréquences électromagnétiques. L'énergie radioélectrique constitue une partie de ce spectre comprise entre les fréquences de 3 kHz et de 300 GHz, soit au-dessous de la fréquence de la lumière visible et au-dessus des fréquences extrêmement basses (ELF). L'énergie radiofréquences (RF) est produite par de nombreuses sources artificielles, y compris les téléphones cellulaires (mobiles) et les stations de base, les installations de télévision et de radiodiffusion, les radars, le matériel médical, les fours à micro-ondes, les dispositifs de chauffage RF par induction ainsi qu'une variété d'autres dispositifs électroniques utilisés dans nos foyers et au travail.

Il est depuis longtemps reconnu qu'une énergie radioélectrique d'intensité suffisante peut produire un échauffement dans des substances à conductivité finie, y compris les tissus biologiques. Un certain nombre d'effets biologiques et d'effets nocifs pour la santé bien établis, dus à une exposition aiguë à une énergie RF intense, ont été documentés⁽⁴⁻⁹⁾. Ces effets sont en grande partie liés à l'échauffement ou à la stimulation localisée de tissus excitables lors d'une exposition intense à l'énergie RF. Les réactions biologiques particulières associées à l'exposition à l'énergie RF sont en général liées au débit d'absorption de l'énergie. Le débit et la distribution de l'absorption d'énergie radioélectrique dépendent fortement de la fréquence, de l'intensité et de l'orientation des champs incidents ainsi que de la taille du corps et de ses propriétés constitutives (constante diélectrique et conductivité). Aux fréquences de 100 kHz à 6 GHz, l'absorption d'énergie RF est communément décrite en termes de débit d'absorption spécifique (DAS), le DAS étant une indication du débit d'absorption d'énergie par unité de masse de tissu corporel, qui s'exprime habituellement en watts par kilogramme (W/kg). Des limites d'exposition, fondées sur une vaste somme de connaissances acquises, ont été établies à l'échelle nationale et internationale afin de protéger le grand public contre les effets nocifs associés à une exposition aiguë à l'énergie radioélectrique⁽⁸⁻⁹⁾.

Les limites d'exposition spécifiées dans le Code de sécurité 6 se fondent sur une évaluation approfondie des publications scientifiques touchant les effets thermiques et possiblement non thermiques de l'énergie RF sur les systèmes biologiques. Les scientifiques de Santé Canada assurent un suivi continu des études scientifiques examinées par des pairs et font appel à une approche reposant sur la valeur de la preuve pour évaluer les risques possibles de l'énergie RF pour la santé. Pour ce faire, on prend en compte la quantité d'études menées sur un paramètre particulier (effet nocif ou nul), mais surtout la qualité de ces études. Les études présentant des failles (mesures dosimétriques incomplètes ou échantillons témoins insuffisants) ont donc relativement peu de poids, alors que celles qui sont réalisées dans les règles (témoins tous inclus, statistiques appropriées, mesures dosimétriques complètes) en ont davantage. Les limites d'exposition du Code de sécurité 6 sont basées sur le plus faible niveau d'exposition présentant des risques pour la santé scientifiquement établis. On a intégré des facteurs de sécurité à ces limites afin d'ajouter un autre niveau de protection du grand public et du personnel travaillant à proximité de sources de RF. L'approche scientifique adoptée pour établir les limites

d'exposition du Code de sécurité 6 est comparable à celle que suivent les organismes internationaux de normalisation scientifique d'autres pays⁽⁸⁻¹²⁾. Les restrictions de base du Code de sécurité 6 sont donc semblables à celles qu'ont adoptées la plupart des autres pays, car tous les organismes de normalisation reconnus utilisent les mêmes données scientifiques. Soulignons que le Code de sécurité 6 se fonde sur les risques pour la santé qui sont scientifiquement établis et devrait être distingué d'autres lignes directrices, municipales ou nationales, reposant sur des considérations sociopolitiques.

Les sections qui suivent précisent les niveaux d'exposition maximaux applicables aux personnes présentes dans les environnements contrôlés et non contrôlés. Ces niveaux ne doivent pas être dépassés.

1.1 Objectifs du Code

Voici les principaux objectifs du présent Code :

- (a) spécifier l'exposition humaine maximale à l'énergie RF dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz afin d'éviter des effets nocifs sur la santé humaine;
- (b) spécifier le niveau maximal admissible des courants RF induits et de contact à travers le corps, afin d'éviter une perception physique des courants internes dus à l'énergie RF dans les environnements non contrôlés, ainsi que prévenir des brûlures ou chocs dus à l'exposition à l'énergie RF dans les environnements contrôlés;
- (c) donner des précisions pour l'évaluation des niveaux d'exposition aux RF afin de s'assurer que le personnel présent dans les environnements contrôlés et non contrôlés ne soit pas exposé à des niveaux supérieurs aux limites spécifiées dans le présent Code.

2. Limites d'exposition maximales

Les publications scientifiques relatives aux effets biologiques possibles de l'énergie RF ont fait l'objet d'un suivi continu par les scientifiques de Santé Canada depuis la dernière édition du Code de sécurité 6 en 1999. Au cours de cette période, un nombre important de nouvelles études ont permis d'évaluer les risques associés à des expositions importantes et chroniques à de l'énergie RF afin de déterminer les effets possibles de cette énergie dans une grande variété de secteurs de la biologie, dont les suivants : cancers chez l'humain (épidémiologie); mortalité chez les rongeurs; apparition, promotion et copromotion de tumeurs; mutagénicité et dommages à l'ADN; activité EEG; mémoire, comportement et fonctions cognitives; expression des gènes et des protéines; fonction cardiovasculaire; réponse immunitaire; effets sur la reproduction; et hypersensibilité électromagnétique (HSEM) perçue. Ces études sont résumées dans de nombreuses publications⁽¹³⁻³⁰⁾.

Malgré la publication de milliers d'autres études sur l'énergie RF et la santé, les effets nocifs pour la santé dus à l'exposition à l'énergie RF dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz demeurent associés à l'échauffement des tissus et à la stimulation de tissus excitables lors d'expositions (aiguës) de courte durée. Pour le moment, il n'existe pas de base scientifique permettant de poser en principe l'existence de risques chroniques et/ou cumulatifs pour la santé attribuables à une énergie RF d'intensité inférieure aux limites définies dans le Code de sécurité 6. Les effets proposés en ce qui concerne une exposition à une énergie RF dans la gamme de 100 kHz à 300 GHz, à des niveaux inférieurs au seuil d'apparition d'effets thermiques, ont été examinés. À l'heure actuelle, ces effets n'ont pas été scientifiquement établis, et leur incidence sur la santé humaine n'est pas suffisamment comprise. En outre, le manque de preuves de causalité, de vraisemblance biologique et de reproductibilité affaiblit grandement l'hypothèse de l'existence de tels effets. On ne dispose donc pas de fondements crédibles pour la présentation de recommandations scientifiquement fondées visant à limiter l'exposition des personnes à une énergie RF de faible intensité.

En ce qui concerne les fréquences de 3 à 100 kHz, le principal effet sur la santé à éviter est la stimulation non intentionnelle de tissus excitables, car le seuil pour l'électrostimulation dans cette gamme de fréquences est en général plus bas que le seuil établi pour l'apparition d'effets thermiques. Des études expérimentales ont démontré que l'exposition à des champs électriques et magnétiques exogènes peut induire dans les tissus biologiques des courants et des champs électriques *in situ*, qui peuvent produire une dépolarisation des nerfs et des muscles^(5, 8-9, 31-32). Le Code de sécurité 6 établit des limites applicables à l'intensité maximale des champs électriques et magnétiques externes afin d'éviter des intensités de champs électriques *in situ* supérieures au seuil minimal d'excitation des tissus excitables.

Dans le cas des fréquences de 100 kHz à 300 GHz, l'échauffement des tissus est le principal effet sur la santé à éviter. D'autres effets non thermiques proposés n'ont pas été documentés de façon concluante pour les niveaux d'exposition inférieurs au seuil d'apparition des effets thermiques. Des études sur des animaux, y compris des primates autres que l'être humain, ont démontré de façon cohérente l'existence d'un seuil pour l'apparition de modifications dans le comportement et d'une hausse de la température corporelle de l'ordre de $\sim 1,0$ °C, pour un DAS corporel moyen

de ~ 4 W/kg⁽⁷⁻⁹⁾. Ces conclusions constituent le fondement scientifique des limites de DAS corporel moyen établies dans le Code de sécurité 6. Pour éviter les effets thermiques, on a intégré un facteur de sécurité de 10 pour les expositions dans les environnements contrôlés, d'où une limite de DAS corporel moyen de 0,4 W/kg. On a incorporé un facteur de sécurité de 50 pour les expositions dans les environnements non contrôlés afin de protéger le grand public, d'où une limite de DAS corporel moyen de 0,08 W/kg.

Le Code de sécurité 6 établit également des limites de DAS de crête (moyenne spatiale) afin d'éviter des effets thermiques excessifs (points chauds) dans des tissus humains localisés. Ces limites tiennent compte de la nature hautement non homogène des expositions typiques à l'énergie RF et des différentes propriétés thermorégulatrices de divers tissus corporels. Elles s'appliquent à des volumes de tissus discrets (1 ou 10 g), où la thermorégulation peut efficacement dissiper la chaleur et éviter des hausses (>1 °C) de la température corporelle. Ainsi, les limites de DAS de crête pour les expositions dans les environnements contrôlés sont de 20 W/kg pour les membres et de 8 W/kg pour la tête, le cou et le tronc. Pour les expositions dans les environnements non contrôlés, elles sont de 4,0 W/kg pour les membres et de 1,6 W/kg pour la tête, le cou et le tronc. Le Code de sécurité 6 établit également des limites pour l'évitement de chocs douloureux ou de brûlures dus à des courants de contact.

Les restrictions de base à respecter sont exprimées sous forme de courants circulant dans le corps, soit par induction ou par contact avec des objets métalliques sous tension, ou sous la forme du débit auquel l'énergie électromagnétique radioélectrique est absorbée dans le corps (DAS). En pratique, la mesure directe du DAS est possible uniquement en laboratoire. Le Code indique donc à la fois les limites de DAS et le niveau recommandé d'exposition maximale en fonction d'intensité de champs magnétiques et électriques non perturbés, ainsi que la densité de puissance à respecter. Ces intensités de champ maximales sont des niveaux établis de manière à garantir que le DAS ou le courant induit dans le corps ne dépasse pas les limites des restrictions de base. D'autres facteurs, tels que les variations temporelles d'intensité et la distribution spatiale des champs de rayonnement, sont visés par des dispositions applicables aux moyennes temporelles et spatiales. Une exposition à des niveaux d'énergie radioélectrique supérieurs aux limites fixées dans le présent code, selon les moyennes temporelles et spatiales établies, peut causer des effets nocifs pour la santé.

Aux fins du présent code, les environnements contrôlés sont les milieux répondant à l'ensemble des conditions suivantes :

- (a) les intensités des champs RF présents dans un environnement contrôlé ont été dûment caractérisés au moyen de mesures, de calculs ou d'une modélisation (par exemple à l'aide d'un logiciel FDTD [différences finies dans le domaine temporel]),
- (b) l'exposition est subie par des personnes qui sont conscientes des risques de l'exposition aux rayonnements RF et connaissent l'intensité des champs RF dans leur environnement,
- (c) l'exposition est subie par des personnes qui sont conscientes des risques potentiels pour la santé associés à l'exposition aux rayonnements RF et qui peuvent limiter ces risques au moyen de stratégies d'atténuation.

Tous les environnements non conformes aux conditions précitées sont considérés comme non contrôlés. Les environnements non contrôlés sont soit des secteurs où l'évaluation de l'énergie RF est insuffisante, soit des secteurs auxquels ont accès des personnes qui n'ont pas reçu la formation nécessaire en ce qui concerne les RF et qui n'ont pas les moyens d'évaluer leur exposition à cette énergie ou, s'il y a lieu, de prendre des mesures pour atténuer leur exposition à l'énergie RF.

Afin de déterminer si les durées et les niveaux maximaux d'exposition ont été dépassés, il convient de considérer avec soin des facteurs tels que :

- (a) la nature de l'environnement d'exposition (contrôlé ou non contrôlé);
- (b) la durée d'exposition et/ou la moyenne temporelle (y compris les durées de fonctionnement et d'arrêt des générateurs RF, la direction du faisceau, les facteurs d'utilisation, les durées de balayage, etc.);
- (c) les caractéristiques spatiales de l'exposition (c'est-à-dire le corps entier ou des parties de corps);
- (d) l'uniformité du champ de rayonnement, c.-à-d. la moyenne spatiale.

Dans certains cas, des niveaux d'exposition plus élevés peuvent être permis pour de courtes périodes. La moyenne des densités de puissance et des intensités de champ est alors prise sur une période d'un dixième d'heure (0,1 h ou 6 min). Des graphiques sont présentés à l'annexe I afin de permettre de facilement identifier les niveaux d'exposition maximale à diverses fréquences.

Les unités SI sont utilisées partout dans le présent document à moins d'avis contraire.

2.1 Restrictions de base

2.1.1 Limites du débit d'absorption spécifique (DAS)

Le débit d'absorption spécifique (DAS) est une mesure du débit auquel l'énergie électromagnétique est absorbée dans le corps. Aux fréquences de 100 kHz à 6 GHz, les limites du DAS ont priorité sur les limites d'intensité de champ et de densité de puissance, et ne doivent pas être dépassées.

Le DAS devrait être déterminé dans les cas où l'exposition se produit à une distance de 0,2 m ou moins de la source. Lorsque la détermination du DAS est possible, les valeurs indiquées au tableau 1 ne doivent pas être dépassées. Dans le cas contraire, des mesures d'intensité de champ et de densité de puissance doivent être prises, et ce sont les limites indiquées à la section 2.2 qui doivent être respectées.

Tableau 1. Limites de DAS pour les environnements contrôlés et non contrôlés.

Condition	Limite de DAS (W/kg)	
	Environnement contrôlé	Environnement non contrôlé
DAS moyen pour l'ensemble de la masse corporelle.	0,4	0,08
DAS spatial de crête pour la tête, le cou et le tronc, moyenne établie pour un gramme (g) de tissu *.	8	1,6
DAS spatial de crête pour les membres, moyenne établie pour 10 grammes (g) de tissu *.	20	4

* Définis comme un volume de tissu sous forme de cube. Une masse de 10 g de tissu représente un volume d'environ 10 cm³, tandis que 1 g de tissu correspond à un volume d'environ 1 cm³.

Nota : Bien que le Code ne l'exige pas, il est recommandé que, dans la mesure du possible, le DAS moyen pour l'œil ne dépasse pas 0,4 W/kg dans un environnement contrôlé et 0,2 W/kg dans un environnement non contrôlé.

2.1.2 Limites des courants induits et de contact

Les limites applicables aux courants induits et de contact visent à réduire les risques de chocs ou de brûlures dus à des rayonnements RF comme suit :

(a) Pour des personnes se tenant debout (et n'ayant aucun contact avec des objets métalliques), la valeur du courant induit par l'énergie électromagnétique dans le corps humain pour les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 des tableaux 2 et 3 ne doit pas dépasser la valeur donnée à la colonne 2 du :

(i) tableau 2 pour les environnements contrôlés,

(ii) tableau 3 pour les environnements non contrôlés.

Une évaluation de la conformité des courants induits aux limites doit être effectuée avec les instruments appropriés. Les mesures devraient être effectuées sur une personne debout ou au moyen d'une antenne équivalente en position verticale.

Nota : On peut mesurer un courant induit à travers les deux pieds d'une personne en utilisant une pince ampèremétrique (sonde) ou une plateforme composée de deux plaques parallèles conductrices isolées l'une de l'autre et placées l'une au-dessus de l'autre. Si une plateforme est utilisée, celle-ci doit être placée sur la surface où la personne se tient debout. La personne ou une antenne équivalente doit être en position verticale sur la plaque supérieure de la plateforme. Une chute de tension dans une résistance à faible inductance connectée entre les plaques fournit une indication du courant induit.

- (b) Aucun objet avec lequel une personne pourrait entrer en contact par saisie manuelle ne doit être alimenté en énergie électromagnétique dans les bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 des tableaux 2 et 3, de façon tel que le courant maximal passant dans le corps humain et sortant par les pieds dépasse les valeurs spécifiées à la colonne 3 du :
- (i) tableau 2 pour les environnements contrôlés,
 - (ii) tableau 3 pour les environnements non contrôlés.

Nota 1 : Pour tout objet métallique conducteur avec lequel une personne pourrait entrer en contact et qui est situé près d'un champ RF de grande intensité, les courants de contact doivent être mesurés à l'aide d'un instrument composé d'un circuit électrique dont l'impédance est égale à celle du corps humain.

Nota 2 : Dans les environnements contrôlés, les courants maximaux permis peuvent être perçus (p. ex. sensation de picotement ou d'échauffement), mais sont insuffisants pour provoquer des douleurs ou des lésions (p. ex. brûlures).

- (c) Lorsque l'énergie électromagnétique est composée d'un nombre de fréquences dans la même bande ou dans différentes bandes de fréquences indiquées à la colonne 1 des tableaux 2 et 3, le rapport entre le carré du courant mesuré à chaque fréquence et le carré de la limite à cette fréquence, indiquée à la colonne 2 ou 3 (selon que le courant est induit ou de contact), doit être déterminé, et la somme de tous les rapports obtenus pour toutes les fréquences ne doit pas dépasser l'unité une fois la moyenne temporelle calculée. La limite, appliquée à plusieurs fréquences, peut être exprimée comme suit :

$$\sum_{f=3 \text{ kHz}}^{110 \text{ MHz}} r_f \leq 1 \quad (2.1)$$

où f est la fréquence pour laquelle les mesures ont été prises, et r_f est le rapport entre le carré de la valeur mesurée à chaque fréquence et le carré de la limite d'exposition à cette fréquence, selon l'expression suivante :

$$r_f = \left[\frac{\text{Moyenne temporelle mesurée du courant à } f}{\text{Limite du courant à } f} \right]^2 \quad (2.2)$$

Tableau 2. Limites du courant de contact et du courant induit pour les environnements contrôlés.

1 Fréquence (MHz)	2 Courant induit (valeur efficace) (mA) dans		3 Courant de contact (valeur efficace) (mA) transmis par saisie manuelle et passant dans chaque pied	4 Période d'intégration (période pendant laquelle la moyenne est calculée)
	les deux pieds	chaque pied		
0,003 - 0,1	2000 <i>f</i>	1000 <i>f</i>	1000 <i>f</i>	1 s
0,1 - 110	200	100	100	6 min

Nota : 1. La fréquence, *f*, est en MHz.

2. Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets sous tension.

Tableau 3. Limites du courant de contact et du courant induit pour les environnements non contrôlés.

1 Fréquence (MHz)	2 Courant induit (valeur efficace) (mA) dans		3 Courant de contact (valeur efficace) (mA) transmis par saisie manuelle et passant dans chaque pied	4 Période d'intégration (période pendant laquelle la moyenne est calculée)
	les deux pieds	chaque pied		
0,003 - 0,1	900 <i>f</i>	450 <i>f</i>	450 <i>f</i>	1 s
0,1 - 110	90	45	45	6 min

Nota : 1. La fréquence, *f*, est en MHz.

2. Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets sous tension.

- (d) Pour des fréquences entre 3 kHz et 100 kHz, la période pendant laquelle est calculée la moyenne temporelle du courant induit et du courant de contact est de une seconde. Pour des fréquences entre 100 kHz et 110 MHz, la période pendant laquelle est calculée la moyenne temporelle devrait être appliquée au carré des courants induits et de contact et devrait correspondre à la période d'intégration indiquée aux tableaux 5 et 6, mais la moyenne temporelle du carré du courant

calculée sur une période de 6 min (0,1 h) ne doit pas dépasser la limite présentée dans la relation suivante :

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}} \quad (2.3)$$

où I_{av} est le courant moyen maximal pour une durée d'exposition inférieure à 6 min, I_{lm} est la limite du courant dans chaque pied (100 mA pour un environnement contrôlé et 45 mA pour un environnement non contrôlé) spécifiée aux tableaux 2 et 3, et T_{exp} est la durée d'exposition en minutes pendant toute période de 6 min. Le tableau 4 indique les valeurs plus élevées de I_{av} permises pour des périodes d'exposition de moins de 6 min.

Tableau 4. Limites du courant induit et du courant de contact (moyennes temporelles) pour plusieurs durées d'exposition dans la bande de fréquences 0,1-110 MHz, applicables aux environnements contrôlés et non contrôlés.

Durée d'exposition (min)	Courant induit/de contact (moyenne temporelle) (valeur efficace) passant dans chaque pied (mA)	
	Environnement contrôlé	Environnement non contrôlé
≥ 6	100	45
5	110	49
4	123	55
3	141	64
2	173	78
1	245	110
0,5	346	155
< 0,5	350	155

Nota : Les limites présentées ci-haut peuvent être insuffisantes pour éviter l'effet de surprise et les brûlures résultant de rejets transitoires d'étincelles lors d'un contact intermittent avec des objets sous tension.

2.2 Limites d'intensité des champs électriques et magnétiques

Dans la zone de champ lointain, l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance sont liées suivant des expressions mathématiques simples, où chacun de ces paramètres définit les deux autres. Dans la zone de champ proche, les intensités des champs électriques et magnétiques non perturbés doivent être mesurées puisqu'il n'y existe aucune relation simple entre ces deux grandeurs. Les instruments nécessaires pour mesurer les champs magnétiques de certaines fréquences ne sont pas nécessairement offerts sur le marché. Dans ce cas, c'est l'intensité du champ électrique qui doit être mesurée et utilisée pour évaluer le respect des restrictions de base établies dans le présent code.

Personne ne devrait être exposé à une énergie électromagnétique comprise dans les bandes de fréquences mentionnées à la colonne 1 des tableaux 5 et 6, si :

- (a) les intensités des champs électriques ou magnétiques dépassent les valeurs des moyennes spatiales et temporelles spécifiées à la colonne 2 ou 3 du :
 - (i) tableau 5 pour les environnements contrôlés,
 - (ii) tableau 6 pour les environnements non contrôlés.
- (b) la densité de puissance dépasse les valeurs des moyennes spatiales et temporelles spécifiées à la colonne 4 du :
 - (i) tableau 5 pour les environnements contrôlés,
 - (ii) tableau 6 pour les environnements non contrôlés.

La moyenne spatiale doit être déterminée sur une aire équivalente à la section transversale verticale du corps humain (section 2.4). Une période d'intégration de 6 min doit être utilisée pour les fréquences allant jusqu'à 15 000 MHz. Pour les fréquences supérieures à 15 000 MHz, la période d'intégration à utiliser, en minutes, doit être la suivante :

$$\text{Période d'intégration} = 616\,000 / f^{1,2}$$

où f est la fréquence en MHz.

Lorsque l'énergie électromagnétique est composée d'un nombre de fréquences dans la même bande ou dans différentes bandes de fréquences de la colonne 1 des tableaux 5 et 6, le rapport entre la valeur mesurée à chaque fréquence et la limite à cette fréquence, indiquée à la colonne 2, 3 ou 4, doit être calculée. Les moyennes spatiales

et temporelles de la somme de tous les rapports pour chaque fréquence ne doivent pas dépasser l'unité. Pour les mesures d'intensité de champ, il faut élever au carré les valeurs mesurées et les limites avant de déterminer les rapports. La limite, appliquée à plusieurs fréquences, peut être exprimée comme suit :

$$\sum_{f = 3 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} R_f \leq 1 \quad (2.4)$$

où f est la fréquence pour laquelle les mesures ont été prises, et R_f est le rapport entre la valeur mesurée à chaque fréquence et la limite d'exposition à cette fréquence, et où l'intensité du champ électrique ou magnétique est mesurée,

$$R_f = \left[\frac{\text{Valeur mesurée de l'intensité du champ à } f}{\text{Limite d'exposition de l'intensité du champ à } f} \right]^2 \quad (2.5)$$

ou bien, lorsque la densité de puissance est mesurée,

$$R_f = \frac{\text{Valeur mesurée de la densité de puissance à } f}{\text{Limite d'exposition de la densité de puissance à } f} \quad (2.6)$$

Tableau 5. Limites d'exposition pour les environnements contrôlés.

1 Fréquence (MHz)	2 Intensité du champ électrique; valeur efficace (V/m)	3 Intensité du champ magnétique; valeur efficace (A/m)	4 Densité de puissance (W/m ²)	5 Période d'intégration (période sur laquelle la moyenne est calculée) (min)
0,003 - 1	600	4,9		6
1-10	600/ <i>f</i>	4,9/ <i>f</i>		6
10 - 30	60	4,9/ <i>f</i>		6
30 - 300	60	0,163	10*	6
300 - 1500	3,54 <i>f</i> ^{0,5}	0,0094 <i>f</i> ^{0,5}	<i>f</i> /30	6
1500 - 15 000	137	0,364	50	6
15 000 - 150 000	137	0,364	50	616 000 / <i>f</i> ^{1,2}
150 000 - 300 000	0,354 <i>f</i> ^{0,5}	9,4 x 10 ⁻⁴ <i>f</i> ^{0,5}	3,33 x 10 ⁻⁴ <i>f</i>	616 000 / <i>f</i> ^{1,2}

* La limite de densité de puissance est applicable aux fréquences supérieures à 100 MHz.

Nota : 1. La fréquence, *f*, est en MHz.

2. Une densité de puissance de 10 W/m² est équivalente à 1 mW/cm².

3. Une intensité de champ magnétique de 1 A/m correspond à 1,257 microtesla (μT) ou 12,57 milligauss (mG).

Tableau 6. Limites d'exposition pour les environnements non contrôlés.

1 Fréquence (MHz)	2 Intensité du champ électrique; valeur efficace (V/m)	3 Intensité du champ magnétique; valeur efficace (A/m)	4 Densité de puissance (W/m ²)	5 Période d'intégration (période sur laquelle la moyenne est calculée) (min)
0,003 - 1	280	2,19		6
1 - 10	280/ <i>f</i>	2,19/ <i>f</i>		6
10 - 30	28	2,19/ <i>f</i>		6
30 - 300	28	0,073	2	6
300 - 1500	1,585 <i>f</i> ^{0,5}	0,0042 <i>f</i> ^{0,5}	<i>f</i> /150	6
1500 - 15 000	61,4	0,163	10	6
15 000 - 150 000	61,4	0,163	10	616 000 / <i>f</i> ^{1,2}
150 000 - 300 000	0,158 <i>f</i> ^{0,5}	4,21 x 10 ⁻⁴ <i>f</i> ^{0,5}	6,67 x 10 ⁻⁵ <i>f</i>	616 000 / <i>f</i> ^{1,2}

* La limite de densité de puissance est applicable aux fréquences supérieures à 100 MHz.

Nota : 1. La fréquence, *f*, est en MHz.

2. Une densité de puissance de 10 W/m² est équivalente à 1 mW/cm².

3. Une intensité de champ magnétique de 1 A/m correspond à 1,257 microtesla (μT) ou 12,57 milligauss (mG).

2.2.1 Limites d'intensité maximale pour un champ pulsé

Bien que la densité de puissance moyenne des ondes pulsées doive respecter les limites spécifiées aux tableaux 5 et 6, la valeur maximale de l'intensité instantanée du champ électrique (crête temporelle) dans la gamme de 0,1 à 300 000 MHz ne doit pas dépasser 100 kV/m.

Pour les expositions à des champs RF pulsés dans la gamme de 0,1 à 300 000 MHz, les densités de puissance de crête pulsée sont limitées par l'utilisation de la moyenne temporelle et la limite applicable au champ électrique de crête, à une exception près : la densité totale de l'énergie incidente pendant toute période d'un dixième

de seconde comprise dans la période d'intégration (période pendant laquelle on prend la moyenne) ne doit pas dépasser un cinquième de la densité totale d'énergie permise sur l'ensemble de la période d'intégration pour un champ continu⁽⁹⁾, ce qui peut s'exprimer selon la formule suivante :

$$\sum_{0,1s} W_p T \leq \frac{W_a T_a}{5} \quad (2.7)$$

où

W_p = densité de puissance RF de crête, en W/m²

W_a = limite de densité de puissance spécifiée à la colonne 4 du tableau 5 ou 6, en W/m²

T = durée de l'impulsion, en secondes

T_a = période d'intégration spécifiée à la colonne 5 du tableau 5 ou 6, en secondes.

Un maximum de cinq impulsions d'une durée de moins de 100 ms est permis pour toute période égale à la période d'intégration. Si ce nombre d'impulsions est dépassé, ou si la durée des impulsions est supérieure à 100 ms, les calculs normaux sont applicables.

2.3 Détermination de la moyenne temporelle

Pour les fréquences comprises entre 3 kHz et 100 kHz, la moyenne temporelle pour les courants induits et de contact doit se calculer sur une période de 1 seconde (section 2.1.2). Pour les fréquences supérieures à 100 kHz et allant jusqu'à 15 000 MHz, il faut la calculer en tenant compte du fait que les restrictions de base de ce code visent à limiter l'accroissement de la température dans les tissus. L'accroissement de la température dans les tissus vivants en raison de l'absorption d'énergie radioélectrique suit un modèle bien défini avec une constante de temps d'environ 6 minutes (constante de temps thermique), **63 %** de l'accroissement de la température en régime permanent se produisant sur une période de 6 min. La moyenne temporelle autorise des expositions supérieures aux limites définies aux sections 2.1 et 2.2 pour de courtes périodes, pourvu que l'énergie totale absorbée pendant toute période de 6 min ne dépasse pas le niveau d'énergie absorbée lors d'une exposition constante (sans variation dans le temps) selon les limites définies aux sections 2.1 et 2.2. Comme la moyenne temporelle est déterminée selon des facteurs liés à l'énergie absorbée, les intensités des champs électrique et magnétique doivent être élevées au carré avant l'application de la moyenne temporelle, tandis que la densité de puissance et le DAS sont appliqués directement.

Dans les cas où l'intensité de l'exposition varie sensiblement avec le temps sur une période de 6 min, les valeurs de moyenne temporelle doivent être calculées à partir de multiples mesures; dans les autres cas, une seule mesure suffit. Certains instruments donnent la moyenne temporelle, mais en leur absence, le calcul de la moyenne temporelle sur une période de 6 min peut se faire selon les formules suivantes :

- (a) Pour obtenir la moyenne temporelle de l'intensité efficace du champ électrique (E) ou magnétique (H), utiliser la formule appropriée :

$$E = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^n E_i^2 \Delta t_i \right]^{0,5} \quad (2.8)$$

ou

$$H = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^n H_i^2 \Delta t_i \right]^{0,5} \quad (2.9)$$

où E_i et H_i sont respectivement les valeurs échantillonnées des intensités efficaces des champs électrique et magnétique, considérées comme étant constantes pendant la $i^{\text{ème}}$ période de temps, Δt_i est la durée en minutes de la $i^{\text{ème}}$ période de temps, et n est le nombre de périodes de temps en 6 minutes.

- (b) Pour obtenir la moyenne temporelle de la densité de puissance W , utiliser la formule suivante :

$$W = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n W_i \Delta t_i \quad (2.10)$$

où W_i est la densité de puissance échantillonnée pendant la $i^{\text{ème}}$ période de temps.

- (c) Pour obtenir la moyenne temporelle du DAS, utiliser la formule suivante :

$$DAS = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (DAS)_i \Delta t_i \quad (2.11)$$

où $(DAS)_i$ est le DAS échantillonné pendant la $i^{\text{ème}}$ période de temps.

Nota 1 : Pour chacune des formules précédentes, la relation suivante doit être vérifiée :

$$\sum_{i=1}^n \Delta t_i = 6 \text{ min} \quad (2.12)$$

Nota 2 : Pour les champs pulsés, E_i et H_i sont les valeurs efficaces et W_i est la moyenne temporelle pour l'intervalle Δt_i . Si les valeurs maximales sont mesurées, les valeurs moyennes ou efficaces doivent être calculées.

2.4 Détermination de la moyenne spatiale

La détermination de la moyenne spatiale tient compte du fait que les limites d'exposition maximales pour les intensités des champs électrique et magnétique et la densité de puissance sont calculées selon les restrictions de base applicables au DAS moyen pour l'ensemble du corps (section 2.1). Le DAS moyen pour l'ensemble du corps sera égal ou inférieur à la valeur donnée au tableau 1 pour l'exposition à une onde plane uniforme d'une intensité donnée au tableau 5 ou 6, respectivement pour la polarisation suivant l'axe du corps et pour les corps humains de toutes tailles. Il est important de noter que les limites indiquées aux tableaux 5 et 6 représentent la pire combinaison d'énergie absorbée pour les corps humains de toutes tailles à toutes les fréquences. Dans la plupart des situations réalistes, le champ d'exposition n'est pas uniforme, de sorte que l'intensité de champ ou la densité de puissance devrait être mise en moyenne spatiale avant d'être comparée avec la limite d'exposition maximale.

Les mesures visant à déterminer la conformité aux limites spécifiées à la section 2.2 doivent être effectuées à l'aide de capteurs de champ (sondes) placés à un minimum de 0,2 m de tout objet ou personne. Pour déterminer la valeur de la moyenne spatiale, il faut mesurer les valeurs locales (y compris la valeur maximale) sur la surface projetée (plan uni), équivalente à la région comprenant la tête et le tronc des personnes (adultes ou enfants) qui pourraient être présentes dans l'aire des champs incidents. Il est préférable que les points de mesure soient distribués uniformément dans l'aire d'échantillonnage. Les valeurs locales doivent être mesurées en neuf points ou plus. Lorsque le champ est raisonnablement uniforme (dans une marge de 20 %), une mesure en un seul point représentatif de l'espace occupé par une personne est suffisante. Autrement, les valeurs de moyenne spatiale doivent être calculées selon les formules suivantes :

$$E = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i^2 \right]^{0,5} \quad (2.13)$$

$$H = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i^2 \right]^{0,5} \quad (2.14)$$

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad (2.15)$$

où n est le nombre de points de mesure, E_i , H_i et W_i étant respectivement l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance mesurées au $i^{\text{ème}}$ point.

Définitions

Antenne – Dispositif utilisé pour émettre ou recevoir des radiofréquences (RF).

Champ électrique – Région entourant une charge électrique, où l'ampleur et la direction de la force sur une charge d'épreuve hypothétique est définie à n'importe quel point.

Champ magnétique – Région de l'espace entourant une charge mobile (par exemple, dans un conducteur) définie à n'importe quel point par la force qui serait exercée sur une autre charge mobile hypothétique. Un champ magnétique exerce une force sur des particules chargées uniquement si elles sont en mouvement, et des particules chargées produisent un champ magnétique uniquement lorsqu'elles sont en mouvement.

Courant de contact – Courant circulant entre un objet conducteur (métallique) isolé et sous tension, et le sol, à travers le corps humain.

Courant induit – Courant induit dans un corps humain exposé à des champs RF.

Débit d'absorption spécifique (DAS) – Débit d'absorption de l'énergie radioélectrique dans les tissus par unité de masse. Quantitativement, c'est la dérivée, en fonction du temps, du rapport de l'accroissement de l'énergie (dW) absorbée par l'accroissement d'une masse (dm) contenue dans un élément de volume (dV) d'une densité de masse donnée (ρ).

$$SAR = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{dm} \right] = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{\rho dV} \right]$$

Le DAS est exprimé en watts par kilogramme (W/kg). Par ailleurs,

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

où σ est la conductivité du tissu (S/m), E est la valeur efficace de l'intensité du champ électrique induit dans les tissus (V/m) et ρ est la masse volumique (kg/m³).

Densité de puissance – Débit de l'énergie électromagnétique par unité de surface, habituellement exprimé en W/m² ou mW/cm² ou μ W/cm².

Dispositif RF – Dispositif qui produit et/ou consomme de l'énergie RF.

Effets non thermiques – Effets biologiques attribués à l'exposition à des champs électromagnétiques de faible intensité, à des niveaux inférieurs au seuil établi pour l'apparition d'effets biologiques thermiques.

Effets thermiques – Effets biologiques résultant de l'échauffement du corps en entier ou d'une partie du corps, où se produit une élévation de température suffisante pour produire un effet physiologique sensible.

Environnement contrôlé – Condition ou secteur dans lequel sont exposées à des rayonnements RF des personnes conscientes des risques pour la santé associés à cette exposition, qui connaissent l'intensité des champs RF de leur environnement et peuvent limiter ces risques au moyen de stratégies d'atténuation.

Environnement non contrôlé – Condition ou secteur exposant à des rayonnements RF des personnes qui ne satisfont pas aux critères définis pour l'environnement contrôlé.

Extrémités – Membres d'une personne incluant le haut des bras et les cuisses.

Fréquence – Nombre de périodes sinusoïdales produites par des ondes électromagnétiques en une seconde; habituellement exprimé en hertz (Hz).

Grand public – Personnes de tous les groupes d'âge, de toutes les tailles et de divers états de santé, dont certaines peuvent dans certains cas satisfaire aux conditions définies pour l'environnement contrôlé.

Intensité du champ – Ampleur du champ électrique ou magnétique, habituellement une valeur efficace.

Longueur d'onde – Distance parcourue par une onde propagée en une seule période d'oscillation.

Onde entretenue (CW) – Oscillations successives identiques en régime stationnaire (onde électromagnétique non modulée).

Radiofréquence (RF) – Fréquence ou taux d'oscillation allant d'environ 3 kHz à 300 GHz.

Rayonnement (électromagnétique) – Émission ou transfert d'énergie dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques.

Rayonnement électromagnétique – Propagation de champs électriques et magnétiques, variant avec le temps, dans l'espace, à la vitesse de la lumière.

Restrictions de base – Limites dosimétriques directement liées aux effets sur la santé qui sont établis. Elles tiennent compte de facteurs de sécurité et sont exprimées en valeurs de courants à l'intérieur du corps ou de débit d'absorption spécifique (100 kHz à 6 GHz).

Sécurité – Absence d'effets nocifs attribuables à l'exposition à des RF.

SI – Acronyme désignant le Système international d'unités.

Valeur efficace – Mathématiquement, c'est la racine carrée de la moyenne du carré du champ ou du courant instantané calculée pendant une seule période.

Zone du champ lointain – Espace au-delà d'une limite imaginaire autour de l'antenne. La limite définit le début de la zone où la distribution du champ angulaire est essentiellement indépendante de la distance de l'antenne. Dans cette zone, le champ a surtout un caractère d'onde plane.

Zone du champ proche – Volume d'espace généralement rapproché de l'antenne ou d'une autre structure rayonnante, où les champs électrique et magnétique n'ont pas foncièrement un caractère d'onde plane, mais varient considérablement d'un point à l'autre.

Bibliographie

1. Exigences générales et information relatives à la certification du matériel de radiocommunication (CNR-Gen), Gestion du spectre et télécommunications, Industrie Canada, 2007.
2. Conformité des appareils de radiocommunication aux limites d'exposition humaine aux radiofréquences (toutes bandes de fréquences) (CNR-102), Gestion du spectre et télécommunications, Industrie Canada, 2005.
3. Systèmes d'antennes de radiocommunications et de radiodiffusion, 4^e édition, Circulaire des procédures concernant les clients (CPC-2-0-03), Gestion du spectre et télécommunications, Industrie Canada, 2008.
4. Extremely Low Frequency Fields, Environmental Health Criteria 238, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 2007.
5. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), Environmental Health Criteria 137, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 1993.
6. Vecchia P. Exposure of humans to electromagnetic fields. Standards and Regulations. *Ann. Ist. Super Sanita.* 43:260-267, 2007.
7. D'Andrea JA, Ziriak JM, Adair ER. Radio frequency electromagnetic fields: mild hyperthermia and safety standards. *Prog. Brain Res.* 162:107-135, 2007.
8. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 74:494-522, 1998.
9. International Committee on Electromagnetic Safety. IEEE Standard for Safety Levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE Standard C95.1-2005.
10. Framework for developing health-based EMF standards, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 2006.
11. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Statement: General Approach to protection against non-ionizing radiation. *Health Phys.* 82:540-548, 2002.
12. Roy CR, Martin LJ. A comparison of important international and national standards for limiting exposure to EMF including the scientific rationale. *Health Phys.* 92:635-641, 2007.
13. SCENIHR (Scientific Committee on emerging and Newly Identified Health Risks). Possible Effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health, Health and Consumer Protection – Directorate General, European Commission, 2007.
14. Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Lönn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Salminen T. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Journal international du cancer.* 120:1769-1775, 2007.

15. Lahkola A, Salminen T, Raitanen J, Heinävaara S, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Lönn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Auvinen A. Meningioma and mobile phone use--a collaborative case-control study in five North European countries. *Int. J. Epidemiol.* 37:1304-1313, 2008.
16. Kan P, Simonsen SE, Lyon JL, Kestle JR. Cellular phone use and brain tumor: a meta-analysis. *J. Neurooncol.* 86:71-78, 2008.
17. Krewski D, Glickman BW, Habash RW, Habbick B, Lotz WG, Mandeville R, Prato FS, Salem T, Weaver DF. Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001-2003. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 10:287-318, 2007.
18. Valberg PA, van Deventer TE, Repacholi MH. Workgroup report: base stations and wireless networks-radiofrequency (RF) exposures and health consequences. *Environ. Health Perspect.* 115:416-424, 2007.
19. Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS, McNamee JP. Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review. *Int. J. Radiat. Biol.* 81:189-203, 2005.
20. Verschaeve L. Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. *Mutat. Res.* 681:259-270, 2009.
21. Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: the time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005). *Bioelectromagnetics.* 27:613-627, 2006.
22. D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA, Adair ER. Microwave effects on the nervous system. *Bioelectromagnetics. Suppl.* 6:S107-147, 2003.
23. D'Andrea JA, Adair ER, de Lorge JO. Behavioural and cognitive effects of microwave exposure. *Bioelectromagnetics. Suppl.* 6:S39-62, 2003.
24. McNamee JP and Bellier PV, "Cytogenetic and Carcinogenic Effects of Exposure to Radiofrequency Radiation" Dans: "Chromosomal Alterations: Methods, Results and Importance in Human Health. Obe, Günter; Vijayalaxmi (Eds.) 2007, XXIV, 515 p." Springer-Verlag, Heidelberg, Allemagne (ISBN:9783540714132).
25. Jauchem JR. Effects of low-level radio-frequency (3kHz to 300GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: a review of the recent literature. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 211:1-29, 2008.
26. Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom. Med.* 67:224-232, 2005.
27. Rööslä M. Radiofrequency electromagnetic field exposure and non-specific symptoms of ill health: a systematic review. *Environ. Res.* 107:277-287, 2008.
28. Chauhan V, McNamee JP. Radiofrequency emissions and gene/protein expression: A review. *Radiat. Res.* 172:265-287, 2009.
29. Habash RWY, Byus CV, Elwood JM, Krewski D, Lotz WG, McBride ML, McNamee JP, Prato FS. Recent Advances in Research on Radiofrequency fields and Health: 2004-2007. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 12:250-288, 2009.

30. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2009. ISBN 978-3-934994-10-2.
31. Reilly JP. Applied Bioelectricity: from electrical stimulation to electropathology, New York, Springer, 1998.
32. IEEE Standard C95.6-2002, IEEE Standard for Safety Levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3 kHz. New York, Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2002.

Annexe I – Limites d'exposition maximales à l'énergie RF

