



Santé
Canada

Health
Canada

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

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

Guide technique pour l'interprétation et l'évaluation de la conformité aux lignes directrices de Santé Canada sur l'exposition aux radiofréquences

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

1. Introduction	4
2. Environnements contrôlés et environnements non contrôlés	4
2.1 Principes de base	4
2.2 Protection des personnes dans les environnements contrôlés	5
2.2.1 Circonstances spéciales	6
3. Panneaux de sécurité pour la protection contre les RF	7
3.1 Secteurs.....	7
3.2 Dispositifs.....	8
4. Inspections et évaluation de l'exposition aux rayonnements RF	8
4.1 Inspections	9
4.2 Mesures et évaluation	10
4.2.1 Caractéristiques de base des instruments de mesure servant aux inspections.....	10
4.2.2 Évaluation de l'exposition selon le type de niveau de référence (fondé sur la SN ou le DAS)	11
4.2.3 Calcul de la moyenne temporelle sur six minutes.....	16
4.2.4 Évaluation de l'exposition à des sources multiples	17
4.2.5 Détermination de la moyenne spatiale	21
4.3 Débit d'absorption spécifique (DAS).....	24
4.4 Courant de contact et courant induit.....	26
4.4.1 Courant de contact.....	26
4.4.2 Courant induit.....	28
4.5 Dossiers et recommandations	28
5. Évaluation théorique des champs d'exposition	29
5.1 Zone de champ proche et zone de champ lointain	29
5.1.1 Grandes antennes.....	31
5.1.2 Petites antennes	32
5.1.3 Sources produisant des champs de fuite.....	33
5.2 Formules d'évaluation de l'intensité de champ et de la densité de puissance.....	33
5.3 Puissance moyenne des ondes pulsées	35
5.4 Antennes à balayage	37
Définitions	39
Références	43

Annexe A Critères pour déterminer la priorité des niveaux de référence fondés sur la SN ou de ceux fondés sur le DAS en fonction des caractéristiques temporelles de la forme d'onde d'intensité de champ, de 0,1 à 10 MHz	45
Annexe B Exemples d'évaluation de l'exposition produite par des sources multiples.....	52
Annexe C Exemples d'évaluation de l'exposition au moyen de calculs et exemple de calcul de la moyenne sur six minutes	56
Annexe D Calcul de la moyenne spatiale pour des sources multiples	600

1. Introduction

Le présent document fournit des renseignements techniques destinés à aider les particuliers ou les groupes à comprendre les lignes directrices de Santé Canada sur l'exposition aux radiofréquences (RF), soit le Code de sécurité 6 (CS6-2015) [1]. Il fournit également des renseignements qui peuvent, au besoin, guider les inspections et clarifier les comparaisons entre les niveaux d'exposition mesurés, calculés ou modélisés et les niveaux d'exposition maximaux du Code dans les environnements contrôlés et non contrôlés. En ce qui concerne le respect des lois applicables, les documents pertinents des organismes de réglementation compétents prévalent sur l'information du présent Guide.

2. Environnements contrôlés et environnements non contrôlés

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 caractérisées convenablement au moyen de mesures, de calculs ou d'une modélisation (par exemple l'utilisation d'un logiciel de simulation électromagnétique numérique);
- (b) l'exposition est subie par des personnes qui sont conscientes de la possibilité d'une exposition aux rayonnements RF et qui 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.

2.1 Principes de base

- (a) Les membres du grand public ne devraient pas avoir accès aux environnements contrôlés, où le niveau d'exposition aux rayonnements RF peut dépasser les niveaux de référence applicables aux environnements non contrôlés, qui sont spécifiées à la section 2 du CS6-2015.
- (b) Si l'accès à un environnement contrôlé comme celui décrit en 2.1(a) est possible, des panneaux de démarcation devraient être affichés pour indiquer la présence de rayonnements RF (voir la section 3). Ces panneaux devraient être clairement visibles et identifiables : (i) à toutes les distances d'observations et

angles d'approche; (ii) aux endroits où une exposition qui dépasse les limites applicables aux environnements non contrôlés peut avoir lieu; (iii) aux entrées de l'environnement contrôlé.

(c) Tout dispositif pouvant produire des fuites de rayonnements d'une intensité proche des limites spécifiées pour un environnement non contrôlé à la section 2 du CS6-2015, et auquel le public a accès sans restriction, devrait être vérifié pour assurer la conformité à la réglementation pertinente en vigueur après toute installation, défaillance, modification ou réparation.

2.2 Protection des personnes dans les environnements contrôlés

(a) Les niveaux d'exposition aux RF devraient être bien caractérisés au moyen de mesures, de calculs ou de modélisation dans les environnements contrôlés où des restrictions d'occupation sont en vigueur.

(b) Les niveaux d'exposition aux RF, y compris les courants induits et les courants de contact, ne devraient pas dépasser les limites applicables aux environnements contrôlés spécifiées à la section 2 du CS6-2015, sauf dans des circonstances spéciales (voir la section 2.3).

(c) Des panneaux de démarcation indiquant la présence de champs RF, devraient être affichés conformément aux recommandations présentées à la section 3.

(d) Des barrières matérielles devraient interdire l'accès non autorisé à l'environnement contrôlé dans les secteurs sans surveillance entourant des sources d'énergie RF de forte puissance. Si une clôture en métal est utilisée, les limites de courant de contact applicables à un environnement non contrôlé spécifiées à la section 2 du CS6-2015 devraient être respectées.

(e) Pour choisir l'emplacement d'un dispositif RF, il faut considérer la possibilité d'expositions aux champs RF provenant de sources multiples et de fuites de rayonnements d'autres dispositifs installés à proximité qui pourraient produire des niveaux d'exposition aux rayonnements RF supérieurs aux limites spécifiées à la section 2 du CS6-2015.

(f) Des objets métalliques inutiles ne devraient pas se trouver à proximité de tout dispositif émettant de l'énergie RF, car leur présence pourrait entraîner des champs RF de forte intensité dans certains endroits.

(g) Le personnel d'entretien et les opérateurs de dispositifs RF devraient être conscients des dangers potentiels des champs RF.

(h) Avant de mettre sous tension un dispositif RF pour en faire l'essai ou l'entretien, un soin particulier doit être pris afin d'assurer que personne ne se trouve dans les zones où les champs pourraient dépasser les limites applicables aux environnements contrôlés.

(i) Les instructions et les méthodes de réparation, d'entretien et de fonctionnement d'un dispositif, spécifiées par le fabricant ou une personne compétente, devraient être facilement accessibles aux opérateurs et au personnel d'entretien, qui devraient s'y conformer.

(j) Les essais d'un dispositif avant ou après une réparation quelconque devraient être effectués une fois que les blindages protecteurs, les guides d'ondes et les autres composants ont été mis en place aux endroits désignés.

(k) Le bon fonctionnement du matériel d'essai électronique et des instruments de mesure de la puissance devrait être vérifié à l'avance, c'est-à-dire avant leur utilisation à l'atelier de réparation ou à l'endroit des essais.

(l) Le réglage des tensions, le remplacement de composants générateurs de radiofréquences, le démontage des composants ou la réparation des lignes de transmission devraient être effectués par des personnes ayant reçu une formation appropriée à ce type d'intervention. Les services d'un réparateur qualifié devraient être recherchés lorsqu'on soupçonne un mauvais fonctionnement.

(m) Le bon fonctionnement de tous les verrouillages de sécurité devrait être mis à l'essai; les opérateurs ne devraient pas court-circuiter les verrouillages de sécurité.

(n) Pour la mise à l'essai d'un composant générateur de radiofréquences, il faut raccorder la sortie du composant à une charge appropriée ou faire en sorte que l'énergie rayonnée soit absorbée par du matériel anéchoïque. L'énergie générée ne devrait pas rayonner librement dans des zones occupées.

2.2.1 Circonstances spéciales

Si la période de référence de la section 2 du CS6-2015 est instantanée, comme c'est le cas pour les niveaux de référence fondés sur la stimulation des nerfs (SN) à toutes les fréquences applicables ainsi que pour les niveaux de référence de courant de contact fondés sur le débit d'absorption spécifique (DAS) de 100 kHz à 10 MHz, ces niveaux de référence ne peuvent être dépassés en aucun cas, même temporairement.

Dans certaines circonstances, du personnel autorisé peut être amené par ses fonctions à devoir entrer dans des secteurs où les valeurs rms vraies des niveaux d'exposition peuvent dépasser les limites applicables aux environnements

contrôlés définies aux tableaux 3, 4 et 6 du CS6-2015. Dans ces cas, il est possible de respecter les recommandations du Code en limitant la durée de la période pendant laquelle les travailleurs sont exposés à ces conditions selon les deux mesures de prévention d'ordre organisationnel suivantes :

(a) La durée d'une unique et brève exposition à un rayonnement dépassant les limites spécifiées aux tableaux 3, 4 et 6 de la section 2.2 du CS6-2015 est assez courte pour que la moyenne temporelle du niveau d'exposition (c'est-à-dire la moyenne temporelle calculée sur une période de six minutes qui comprend l'exposition unique et brève) soit conforme à la limite applicable.

(b) Les durées d'expositions intenses et intermittentes lors de la période de travail dépassant les limites spécifiées aux tableaux 3, 4 et 6 de la section 2.2 du CS6-2015 sont assez courtes pour que la moyenne temporelle du niveau d'exposition (c'est-à-dire la moyenne temporelle calculée sur n'importe quelle période de référence de six minutes) soit conforme à la limite applicable.

Les mesures de prévention décrites aux paragraphes (a) et (b) sont des « mesures de prévention d'ordre organisationnel », ce qui est un type de mesures distinct des « mesures de prévention d'ordre technique », où le contrôle de la moyenne temporelle d'exposition dépend des caractéristiques de la modulation d'amplitude ou du facteur d'utilisation de la source. Pour plus de renseignements, consulter les notes 1 et 2 pour le tableau 6, section 4.2.3 du CS6-2015 ainsi que l'exemple C-4 de l'annexe C.

3. Panneaux de sécurité pour la protection contre les RF

3.1 Secteurs

Des panneaux devraient être utilisés pour indiquer les secteurs dans lesquels les niveaux d'exposition aux rayonnements RF, y compris les courants induits et les courants de contact, peuvent dépasser les limites spécifiées à la section 2 du CS6-2015. Dans la mesure du possible, le texte et les symboles doivent être conformes aux normes relatives aux panneaux de sécurité [2].

(a) Des panneaux **ATTENTION** devraient être placés à toutes les entrées d'un secteur dans lequel les niveaux de RF dépassent les limites spécifiées pour les environnements non contrôlés, mais sont inférieurs aux limites spécifiées pour les environnements contrôlés à la section 2 du CS6-2015. Le panneau **ATTENTION** devrait indiquer que le secteur est réservé au « **PERSONNEL AUTORISÉ SEULEMENT** » (ou une expression similaire) afin de signaler aux destinataires (comme les membres du grand public et le personnel qui ne possèdent pas les

connaissances nécessaires pour se protéger) qu'ils ne doivent pas entrer dans ce secteur.

(b) Des panneaux **PRUDENCE** devraient être placés à toutes les entrées d'un secteur dans lequel les niveaux de RF dépassent les limites spécifiées à la section 2 du CS6-2015 pour les environnements contrôlés. Le panneau **PRUDENCE** devrait porter le texte « **ENTRÉE INTERDITE SAUF EN CONDITIONS CONTRÔLÉES** » (ou une expression similaire), pour indiquer que des mesures d'ordre technique et/ou organisationnel doivent être employées afin de restreindre suffisamment les niveaux d'exposition pour le personnel autorisé qui doit entrer dans le secteur.

3.2 Dispositifs

(a) Un panneau **ATTENTION** peut servir à signaler qu'une mauvaise utilisation d'un dispositif émetteur de RF peut entraîner une exposition risquant de causer des blessures. Les exigences d'étiquetage de la partie III de l'annexe II du *Règlement sur les dispositifs émettant des radiations* de la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* [3] prévoient que les fours à micro-ondes doivent porter un panneau **ATTENTION**.

(b) Un panneau **DANGER** peut être apposé sur tout dispositif en cours de développement ou utilisé à des fins industrielles, scientifiques ou médicales qui produit des niveaux d'exposition ou encore des courants de contact ou des courants induits qui posent un risque immédiat et grave de blessure.

4. Inspections et évaluation de l'exposition aux rayonnements RF

L'évaluation des niveaux d'expositions d'une source unique ou de sources multiples peut être mesurée au cours d'une inspection ou calculée par des méthodes mathématiques ou numériques. L'inspection implique normalement l'utilisation d'un instrument étalonné conçu pour mesurer une des grandeurs de niveau de référence directement. Les calculs font appel à des formules mathématiques qui modélisent le comportement des ondes électromagnétiques au moyen de paramètres de source bien définis (comme la fréquence, la puissance d'émission, le gain d'antenne, etc.) ou à des algorithmes numériques qui modélisent les caractéristiques physiques de la ou des sources, et, parfois, celles de l'environnement, pour prédire les valeurs des grandeurs de niveau de référence pertinentes.

Bien souvent, l'approche par calcul mathématique ou numérique permet de déterminer rapidement s'il est plausible ou non que les niveaux de référence

puissent être dépassés, ce qui est utile pour décider de la nécessité d'une inspection. La section 5 du présent Guide contient davantage d'information sur les calculs qui peuvent servir à prédire l'intensité du champ produit par des sources (antennes) dont les paramètres de rayonnement sont connus.

4.1 Inspections

Une inspection vise à évaluer les niveaux d'exposition aux rayonnements RF dans les secteurs d'environnement contrôlé et/ou d'environnement non contrôlé à proximité d'un dispositif ou d'une installation qui produit des champs RF électriques et/ou magnétiques. Les recommandations suivantes sont présentées :

(a) Le mesurage des RF pendant une inspection devrait être effectué uniquement par des personnes qualifiées, ayant reçu une formation spécialisée relative aux instruments et techniques de mesure des RF.

(b) Si les calculs mathématiques ou numériques indiquent qu'il est nécessaire de mesurer les RF, un mesurage devrait être effectué pour tous les nouveaux dispositifs ou les nouvelles installations émettant des rayonnements RF ainsi qu'après toute réparation, défaillance, augmentation de la puissance rayonnée ou modification des conditions de travail (p. ex. blindages protecteurs et/ou barrières), s'il y a un risque de dépassement des limites établies à la section 2.2 du CS6-2015 relativement aux intensités des champs RF, aux courants induits dans le corps et/ou aux courants de contact.

(c) Les instruments de mesure devraient être sélectionnés de manière à être adaptés à la source de RF ainsi qu'aux conditions d'exposition, tout en tenant compte de paramètres tels que la fréquence, l'intensité du champ (ou la densité de puissance) ainsi que des distinctions entre le champ proche et le champ lointain. Les instruments de mesure devraient être entièrement étalonnés de manière périodique; de plus, lorsque c'est possible, leur précision devrait être vérifiée par rapport à un autre instrument étalonné avant l'exécution d'une inspection.

(d) Pendant l'inspection d'un dispositif ou d'une installation RF, tous les verrouillages de sécurité et les interrupteurs « marche-arrêt » devraient être examinés et mis en état de fonctionnement. Les panneaux et les étiquettes de sécurité fixes ou volantes devraient être en place et être faciles à lire.

(e) Il faut s'efforcer d'évaluer l'incertitude de mesure au moyen de méthodes normalisées. Pour des renseignements détaillés sur l'évaluation de l'incertitude, consulter le JCGM 100 :2008 [4] et, pour des renseignements se rapportant particulièrement aux mesures des champs RF, se reporter aux normes AS/NZS 2772.2 [5] et CEI 62232 [6]. Toutes les évaluations d'incertitude

devraient être indiquées dans le dossier d'inspection. S'il n'est pas possible d'effectuer un calcul détaillé des incertitudes, il convient d'inscrire au moins les incertitudes associées à l'instrument qui sont indiquées sur le certificat d'étalonnage.

4.2 Mesures et évaluation

L'espace autour d'une source de RF est généralement divisé en deux zones : la zone du champ proche et la zone du champ lointain (la section 5 du présent Guide contient des renseignements supplémentaires sur ces concepts). Dans de nombreuses inspections des rayonnements RF, les niveaux d'exposition doivent être déterminés dans la zone du champ proche de la source. Dans certains cas, l'environnement comporte des champs RF produits par plusieurs sources, et des difficultés peuvent se poser lorsqu'il s'agit de déterminer l'intensité (ou la densité de puissance) totale de ces champs. Il faut également porter une attention particulière à la sélection d'instruments appropriés afin de s'assurer qu'ils sont conçus pour fonctionner dans les gammes de fréquences requises.

4.2.1 Caractéristiques de base des instruments de mesure servant aux inspections

Pendant l'inspection des champs dans la région du champ proche d'une antenne ou à proximité d'un dispositif, il faut, dans la mesure du possible, mesurer à la fois l'intensité du champ électrique et celle du champ magnétique. Il est cependant possible qu'il n'existe sur le marché aucun instrument de mesure du champ magnétique à certaines fréquences. En l'occurrence, il faut mesurer l'intensité du champ électrique. Dans la zone du champ lointain, il suffit de mesurer l'un des paramètres suivants : l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique ou la densité de puissance. Plusieurs appareils de mesure sont équipés d'indicateurs étalonnés en unités de densité de puissance (en mW/cm^2 par exemple), mais la grandeur réellement mesurée peut en fait correspondre au carré de l'intensité du champ électrique ou magnétique. Il faut garder à l'esprit que les mesures de densité de puissance dans la zone du champ proche ne donnent pas d'indication valable pour l'évaluation des niveaux d'exposition. Habituellement, le paramètre du champ mesuré par un instrument est indiqué dans son manuel d'instructions.

Si la gamme de fréquences d'un instrument de mesure est plus étroite que la gamme de fréquences des champs produits par les sources RF à proximité du lieu d'inspection, il se peut qu'il faille utiliser plusieurs instruments pour déterminer l'intensité des champs dans toute la gamme de fréquences.

Comme l'orientation ou les orientations du vecteur du champ électromagnétique sont généralement inconnues, il est préférable d'utiliser un appareil de mesure

équipé d'un détecteur isotrope. Si le seul appareil disponible est équipé d'un détecteur à un seul axe, il est possible de mesurer le champ total en orientant successivement le détecteur suivant trois directions orthogonales. Dans ce cas, le champ résultant peut être calculé au moyen des formules suivantes :

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (4 - 1)$$

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (4 - 2)$$

$$S = S_x + S_y + S_z \quad (4 - 3)$$

Dans ces formules, les indices x, y et z indiquent dans laquelle des trois orientations orthogonales le champ a été mesuré, tandis que E, H et S représentent, respectivement, l'intensité du champ électrique (en V/m), l'intensité du champ magnétique (en A/m) et la densité de puissance (en W/m²).

Pour la prise de mesures d'inspection dans le champ proche d'une source RF, il faudrait utiliser un appareil conçu pour fonctionner en champ proche. Une attention particulière devrait être portée afin d'éviter que le champ ne soit perturbé par l'instrument (perturbation par le boîtier de l'instrument, mais pas par la sonde) ou encore par d'autres objets ou par des personnes à proximité.

Pour l'inspection de champs modulés en amplitude ou en fréquence, en particulier les champs pulsés, il faudrait évaluer la réaction de l'instrument à ces champs afin de déterminer sa capacité à mesurer ces types de champs.

Près des sources RF ayant des antennes à balayage (rotatives), il est possible que les niveaux d'exposition doivent être déterminés lorsque l'antenne est stationnaire en raison des contraintes liées aux instruments de mesure disponibles. Les conditions d'exposition lorsque l'antenne tourne seront ensuite évaluées selon les méthodes décrites à la section 5.3.

4.2.2 Évaluation de l'exposition selon le type de niveau de référence (fondé sur la SN ou le DAS)

En pratique, la plupart des champs RF sont modulés d'une façon ou d'une autre. Cette modulation peut prendre la forme d'une variation de l'amplitude, de la fréquence et/ou de la phase de la porteuse RF. Même deux ondes entretenues (CW) ayant une intensité de champ similaire produisent des fluctuations d'amplitude lorsqu'elles sont combinées. Le présent Guide ne donne des

indications que sur les variations ou la modulation de l'amplitude de la ou des porteuses, car ces changements d'amplitude ont un effet sur la valeur nette de l'énergie RF absorbée et la possibilité de stimulation des nerfs.

L'analyse qui suit (voir également la section Définitions) porte sur la terminologie utilisée dans le présent Guide pour décrire les caractéristiques d'une seule forme d'onde d'intensité de champ (onde porteuse modulée) ou d'une combinaison de formes d'onde dont l'amplitude varie. (Afin de faciliter la lecture, seuls les termes « intensité de champ » et « densité de puissance » sont utilisés dans cette section; cependant, les considérations sur l'intensité de champ s'appliquent également aux courants de contact et aux courants induits.) Le terme « valeur rms instantanée » désigne la racine carrée de la valeur moyenne du carré de l'intensité de champ sur un seul cycle de la porteuse. Si l'on trace la valeur rms instantanée d'une forme d'onde modulée en fonction du temps, on obtient « l'enveloppe » rms. Le maximum temporel de l'enveloppe rms de l'intensité de champ correspond à la « valeur rms maximale » de l'intensité de champ.

Le taux d'absorption d'énergie d'une personne dépend de la moyenne temporelle du carré de l'intensité de champ calculée sur une période suffisamment longue (c.-à-d. assez longue pour obtenir une valeur qui ne change pas lorsque la période de calcul s'allonge de façon incrémentale). Aux fréquences plus élevées, où le concept de densité de puissance est applicable, le taux d'absorption d'énergie est également lié à la moyenne temporelle de la densité de puissance. Pour l'intensité de champ, le terme « valeur rms vraie » est utilisé pour désigner la racine carrée de la moyenne temporelle du carré de l'intensité de champ, tandis que le terme « moyenne temporelle de la densité de puissance » sert à désigner la valeur moyenne de la densité de puissance calculée sur un temps donné. On suppose dans les deux cas que la moyenne est calculée sur une période assez longue pour obtenir une valeur qui ne change pas lorsque la période de calcul s'allonge de façon incrémentale. (Remarque : certains fabricants d'instruments de mesure de l'intensité de champ utilisent le terme « valeur rms moyenne » (*Average RMS*) plutôt que celui de « valeur rms vraie » (*True RMS*) pour désigner la valeur rms moyenne à long terme. Voir également la section Définitions.)

La durée de la période de calcul de la moyenne requise pour obtenir la valeur rms vraie dépend des caractéristiques du signal. Pour les signaux à modulation périodique, une période de calcul de la moyenne égale à la période de modulation suffit. Pour des modulations très intermittentes ou celles qui varient lentement, il peut être nécessaire d'utiliser une période de calcul de la moyenne de plusieurs minutes. Pour certains types de modulations à impulsions ou de modulations numériques, ou encore dans les cas où deux ou plusieurs porteuses sont superposées dans la largeur de bande de l'instrument de mesure, l'enveloppe peut sembler aléatoire. Dans ce cas, l'utilisation de facteurs d'utilisation ou de rapports moyenne/crête obtenus par calcul statistique peut constituer la meilleure façon

d'estimer la valeur rms vraie de l'intensité de champ ou la moyenne temporelle de la densité de puissance.

3 kHz – 10 MHz

Sous 10 MHz, le CS6-2015 contient deux catégories de niveaux de référence (NR) pour le champ électrique et le champ magnétique aux tableaux 3 et 4 de la section 2.2, respectivement. Le premier ensemble de NR vise la prévention de la stimulation des nerfs (SN). Le Code indique que ces NR ont une période de référence instantanée, ce qui signifie que le paramètre d'intensité de champ à comparer aux NR fondés sur la SN est la valeur rms maximale pour des intensités de champs ayant une amplitude modulée. Dans le cas d'une forme d'onde de champs non-sinusoïdale transmise continuellement sous forme périodique et sans modulation, la méthode pour l'évaluation contre le NR est indiquée dans la section ci-dessous. Il importe de noter que les niveaux de référence indiqués aux tableaux 3 et 4 du CS6-2015 s'appliquent à la valeur maximale temporelle de l'enveloppe rms et non à la valeur de crête instantanée de l'intensité de champ. Ainsi, la valeur maximale de l'enveloppe rms de l'intensité de champ d'un signal d'onde entretenue correspond à 0,707 fois la valeur de crête du signal.

L'autre ensemble de NR (tableaux 3 et 4 du CS6-2015) vise à éviter l'exposition des tissus à un débit d'absorption spécifique (DAS) trop élevé. Le paramètre à comparer aux NR d'intensité de champ fondé sur le DAS est la valeur rms vraie de l'intensité de champ.

En général, aux fréquences où les deux types de niveaux de référence s'appliquent, il faut démontrer la conformité aux deux types de niveaux simultanément (c'est-à-dire qu'il faut démontrer que le signal respecte les deux niveaux de référence en même temps, ce qui ne signifie pas qu'il soit nécessaire de prendre les mesures simultanément). Normalement, il faut donc réaliser deux séries de mesures ou d'évaluations du champ et faire les comparaisons nécessaires pour les deux types de NR. Toutefois, le rapport entre la valeur rms vraie et la valeur rms maximale de l'intensité de champ peut faire en sorte que la conformité à un NR d'un type garantisse automatiquement la conformité au NR de l'autre type; c'est la valeur de ce rapport qui détermine si c'est le cas. Ainsi, l'intensité d'un champ pulsé à faible rapport de cycle pourrait dépasser les limites fondées sur la SN avant celles qui sont fondées sur le DAS; la conformité de valeur rms maximale aux limites garantit donc la conformité de valeur rms vraie aux limites. Cette question est traitée plus en détail à l'annexe A.

La façon la plus simple d'évaluer l'intensité du champ d'un signal modulé par rapport à des NR fondés sur la SN est d'utiliser un détecteur de valeur de l'enveloppe rms et de noter la valeur maximale du signal de l'enveloppe rms. La plupart des instruments de mesure de l'intensité de champ sont étalonnés pour la mesure de la valeur rms instantanée de la porteuse et possèdent un circuit de

maintien de la valeur maximale (*max hold*) en aval du circuit de détection. Les instruments dotés d'une fonction de maintien de la valeur maximale ont généralement un bouton de remise à zéro qui, lorsqu'il est enfoncé, déclenche la remise à zéro de l'instrument pour prendre une autre mesure de la valeur maximale. Le choix d'un temps de maintien (ou temps de recherche – il s'agit de la période entre les remises à zéro) approprié est important : ce temps doit être assez long pour capter la plus grande valeur possible de l'enveloppe rms du signal, mais assez court pour ne pas ralentir le balayage manuel qui sert à déterminer la distribution spatiale du champ.

Pour les mesures de l'intensité de champ évaluées en fonction d'un niveau de référence fondé sur le DAS, la période de référence de calcul de la moyenne devrait être juste assez longue pour fournir une estimation juste de la valeur rms vraie du signal.

Il faut prendre note que dans le cas d'une forme d'onde de champ sinusoïdale non modulée, l'intensité de la valeur rms maximale et la valeur rms vraie sont identiques.

Évaluation des formes d'ondes de champs périodiques et non-sinusoïdaux contre les niveaux de référence fondés sur la SN :

Des exemples de formes d'ondes périodiques et non-sinusoïdales sont des ondes carrées, trapézoïdales, triangulaires, ou sous forme de dents de scie. Aussi comprises sont les formes d'ondes de champs ayant une intensité croissante ou décroissante exponentielle qui est périodique et répétitive. Ces formes d'ondes se produisent lorsqu'une forme d'onde carrée est appliquée à une charge inductive ou capacitive.

La méthode pour l'évaluation de ces types de formes d'ondes est de mesurer ou de calculer l'amplitude crête à crête de la forme d'onde pendant la durée de sa période. La valeur « rms efficace maximale » de la forme d'onde qui doit être comparée au niveau de référence basé sur la SN est égale à l'amplitude crête à crête de la forme d'onde divisée par le facteur $2\sqrt{2}$ (dont le résultat est 2,83). La valeur rms efficace maximale de formes d'ondes périodiques non-sinusoïdales sera traitée pareillement à la valeur maximale rms de formes d'ondes sinusoïdales d'amplitude modulée pour le reste de ce document.

Dans le cas où l'appareil de mesure d'intensité de champ présente une lecture uniquement sous forme de valeur rms vraie, l'amplitude crête peut être déterminée en multipliant la valeur rms vraie par le facteur de crête (CF, « crest factor ») lorsqu'il s'agit d'une forme d'onde symétrique (par rapport à la moyenne de sa valeur). Le facteur de crête, qui est défini comme le rapport entre l'amplitude crête

et l'amplitude rms d'une forme d'onde peut être repéré dans la littérature d'ingénierie (pour les formes d'ondes les plus communes). À titre d'exemple, la valeur rms vraie d'une forme d'onde triangulaire symétrique est de $1/\sqrt{3}$ multiplié par son amplitude crête, ce qui donne un facteur de crête de $\sqrt{3} = 1,73$. Les valeurs crêtes à crêtes de cette forme d'onde peuvent être obtenues en multipliant la lecture de la valeur rms vraie par deux fois le facteur de crête, donc $= 2 \times 1,73$.

Autrement, ou dans le cas de formes d'ondes asymétriques, le rapport crête à crête peut être mesuré (par exemple avec un oscilloscope) afin de calculer sa valeur rms efficace maximale.

10 MHz – 300 GHz

De 10 MHz à 6 GHz, tous les niveaux de référence visent à limiter le DAS corporel moyen. Entre 6 GHz à 300 GHz, les restrictions de base et les niveaux de référence sont donnés en termes de densité de puissance. Toutes les comparaisons aux NR sont faites avec la valeur rms vraie de l'intensité de champ ou la moyenne temporelle de la densité de puissance. La durée de calcul de la moyenne devrait être juste assez longue pour obtenir une estimation juste de la valeur rms vraie de l'intensité de champ ou de la moyenne temporelle de la densité de puissance du signal.

L'annexe C comprend un exemple d'évaluation de l'exposition pour un champ modulé en impulsion.

4.2.3 Calcul de la moyenne temporelle sur six minutes

L'utilisation d'une période de référence de six minutes ne signifie pas que la durée maximale de l'exposition permise est de six minutes (les restrictions de base et les niveaux de référence du CS6-2015 s'appliquent à une exposition ininterrompue).

Dans les environnements non contrôlés, il est généralement impossible de contrôler la durée d'exposition d'une personne. Pour répondre aux limites d'exposition de façon continue (vingt-quatre heures sur vingt-quatre, sept jours sur sept), il faut appliquer des mesures de restriction de la source d'énergie RF de façon à ce que les limites d'exposition ne soient pas dépassées pour une période de référence de six minutes (il s'agit d'une « mesure de prévention d'ordre technique »).

Pour les environnements contrôlés, où l'exposition est bien caractérisée et où le personnel autorisé a une connaissance suffisante des champs RF rayonnés, les limites d'exposition peuvent être respectées de deux façons : soit restreindre la durée d'exposition d'une personne, soit restreindre le rayonnement de la source, comme c'est le cas d'un environnement non contrôlé. Dans le premier cas, le personnel et les responsables du lieu de travail ont la responsabilité partagée de limiter la durée d'exposition de façon à ce que la valeur moyenne de l'exposition sur une période de référence de six minutes ne dépasse pas le niveau de référence (il s'agit d'une « mesure de prévention d'ordre organisationnel »).

Les niveaux de référence fondés sur le DAS et la densité de puissance (jusqu'à 15 000 MHz) indiqués dans CS6-2015 ont une période de référence de six minutes. Il faut comprendre qu'une exposition d'une durée de moins de six minutes peut dépasser le niveau de référence, pourvu que le niveau d'exposition moyen pour une période de six minutes quelconque ne dépasse pas le niveau de référence. Le calcul de la moyenne est fait en utilisant la valeur rms de l'intensité de champ ou du courant et la moyenne arithmétique de la densité de puissance. Ce principe s'applique également à l'exposition aux fréquences de 15 000 à 300 000 MHz, sauf que la durée de la période de référence décroît en fonction de la fréquence (voir les tableaux 5 et 6 du CS6-2015 pour la formule à utiliser pour calculer la durée de la période de référence).

Pour l'exposition à un champ pulsé, il faut également tenir compte des limites de crête du CS6-2015 pour les intensités de champ, la densité de puissance ainsi que les courants de contact et les courants induits.

Un exemple d'utilisation de la période de référence de six minutes est donné à l'exemple C-4 de l'annexe C.

4.2.4 Évaluation de l'exposition à des sources multiples

La section suivante décrit les procédures à suivre pour évaluer l'exposition aux radiofréquences dans des environnements complexes comportant de multiples sources de rayonnement RF émettant à des fréquences différentes. Les sources peuvent être colocalisées ou non, et leur rayonnement est supposé non cohérent (c'est-à-dire que leur signal ne provient pas d'un même générateur de fréquence).

Pour déterminer si les limites sont respectées, il faut, pour chaque source, évaluer la « fraction d'exposition », c'est-à-dire la portion du niveau de référence produite par l'exposition au champ ou au courant généré par la source. Il faut ensuite calculer le « critère de comparaison », qui correspond à la somme des fractions d'exposition, et vérifier que le total pour ce critère est inférieur ou égal à un. Dans l'exposé qui suit, une source correspond à une fréquence RF unique, modulée ou non, émise par un appareil. Si elle est modulée, la source comprend à la fois la porteuse et les produits de modulation. Lorsque la source est modulée et que les limites applicables dépendent de la fréquence, c'est la valeur d'intensité de champ ou de courant du niveau de référence qui correspond à la fréquence porteuse qui doit être utilisée. Si la fréquence exacte d'une porteuse modulée est inconnue, la fréquence médiane de la bande de fréquences qui correspond au spectre du signal modulé peut être utilisée comme fréquence source. Un seul élément rayonnant peut émettre plus d'une source.

Premier cas : Les niveaux de référence applicables sont fondés uniquement sur le DAS et la densité de puissance

Comme le DAS est proportionnel au carré du champ ou du courant et qu'il est directement proportionnel à la densité de puissance, le critère de comparaison est calculé comme suit : pour l'intensité du champ électrique ou magnétique, ou encore pour le courant, il faut faire la somme des carrés; pour la densité de puissance, il faut faire la somme arithmétique.

Pour comprendre l'utilisation du critère de comparaison, il faut examiner la façon dont les différents niveaux de référence fondés sur le DAS ont été établis. Les niveaux de référence pour l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ magnétique et la densité de puissance ont été établis pour éviter une exposition excessive à un DAS corporel moyen, tandis que les niveaux de référence fondés sur le DAS pour le courant induit et le courant de contact ont été établis pour éviter une exposition des membres (les chevilles pour le courant induit et le doigt ou le poignet pour le courant de contact) à une moyenne spatiale du DAS de crête dans 10 g de tissu. Comme il faut respecter simultanément les restrictions de base pour le DAS corporel moyen et la moyenne spatiale du DAS de crête, il y a des critères de comparaisons distincts pour l'intensité de champ (et/ou la densité de puissance) et le courant (courant de contact ou courant induit).

Le principe de base du calcul du critère de comparaison pour l'intensité du champ (et/ou la densité de puissance) est que le DAS corporel moyen correspond à la somme de la contribution de chaque source au DAS corporel moyen :

$$\left[\sum_g^N \left(\frac{E_{rms\ vraie,g}}{E_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_i^M \left(\frac{E_{rms\ vraie,i}}{E_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_j^P \left(\frac{H_{rms\ vraie,j}}{H_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_k^T \left(\frac{S_{moy.,k}}{S_{NR}} \right) \right] \leq 1 \quad (4-4)$$

$$\left[\sum_g^N \left(\frac{H_{rms\ vraie,g}}{H_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_i^M \left(\frac{E_{rms\ vraie,i}}{E_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_j^P \left(\frac{H_{rms\ vraie,j}}{H_{NR-DAS}} \right)^2 + \sum_k^T \left(\frac{S_{moy.,k}}{S_{NR}} \right) \right] \leq 1 \quad (4-5)$$

Dans les formules des critères 4-4 et 4-5, les sources de l'ensemble N sont les sources dont l'intensité du champ électrique (E) et celle du champ magnétique (H) ont été mesurées; les sources de l'ensemble M sont les sources dont seule l'intensité du champ électrique (E) a été mesurée; les sources de l'ensemble P sont les sources dont seule l'intensité du champ magnétique (H) a été mesurée et les sources de l'ensemble T sont les sources dont seule la densité de puissance a été mesurée. $E_{rms\ vraie}$ et $H_{rms\ vraie}$ désignent la valeur rms vraie de l'intensité du champ; $S_{moy.}$ est la moyenne temporelle de la densité de puissance. E_{NR-DAS} et H_{NR-DAS} sont les niveaux de référence d'intensité de champ fondés sur le DAS; S_{NR} est le niveau de référence de densité de puissance.

Une source ne peut faire partie de plus d'un ensemble ni dans le critère 4-4, ni dans le critère 4-5. Toutefois, les ensembles N, M, P et T du critère 4-4 sont identiques aux ensembles correspondant du critère 4-5. Les deux critères sont presque les mêmes, sauf en ce qui concerne la somme des sources pour lesquelles E et H ont été mesurés (l'ensemble N). Cette différence découle de l'hypothèse que la contribution du champ électrique (E) et celle du champ magnétique (H) au DAS corporel moyen ne s'additionnent pas (dans le champ lointain, E et H sont reliés, tandis que dans le champ proche, l'un ou l'autre domine habituellement). S'il n'y a pas de source pour laquelle E et H ont été mesurés, les critères 4-4 et 4-5 sont identiques et il n'est nécessaire d'en calculer qu'un seul.

L'annexe D indique une procédure qui peut être suivie dans les cas où les intensités de champ ne sont pas uniformes et où il faut donc calculer la moyenne spatiale.

Pour les sources multiples de courant induit ou de courant de contact, le critère de comparaison est le suivant :

$$\left[\sum_i^Q \left(\frac{I_{\text{rms vraie},i}}{I_{\text{NR-DAS}}} \right)^2 \right] \leq 1 \quad (4 - 6)$$

Dans ce critère, $I_{\text{rms vraie}}$ est la valeur rms vraie du courant induit ou du courant de contact et $I_{\text{NR-DAS}}$, le niveau de référence du courant fondé sur le DAS. La somme n'est faite que pour les sources pour lesquelles le courant est mesuré (ensemble Q).

Si le courant induit et le courant de contact sont tous deux évalués, il faut appliquer un critère de comparaison distinct pour chaque type de courant. Les contributions du courant induit (chevilles) et du courant de contact (doigt ou poignet) ne s'additionnent pas pour la moyenne spatiale du DAS de crête dans 10 g de tissu, puisque ces courants parcourent des endroits différents du corps.

Deuxième cas : Les niveaux de référence applicables sont fondés uniquement sur la SN

Dans ce cas, le principe de base du calcul du critère de comparaison est que la grandeur de la restriction de base pour la SN, c'est-à-dire la valeur de crête spatiale du champ électrique induit (E_{ind}) dans un tissu, est directement proportionnelle à l'intensité du champ externe ou du courant dans le corps. Pour des sources multiples, chaque source génère une composante de E_{ind} à sa fréquence particulière. La valeur nette de E_{ind} dans le tissu correspond à la superposition de ces composantes. La plus grande valeur rms maximale résultant de la superposition de toutes ces composantes correspond à la somme algébrique de la valeur rms maximale à chaque fréquence (cette valeur n'est atteinte que lorsque toutes les composantes d' E_{ind} aux différentes fréquences sont en phase par rapport au temps; la grandeur du module de champ résultant correspond alors à la somme algébrique des modules des composantes aux différentes fréquences). Cette façon de faire est fondée sur l'hypothèse que les vecteurs du champ électrique induit aux différentes fréquences sont alignés spatialement; on obtient ainsi une comparaison prudente.

Le raisonnement ci-dessus sert de base à la combinaison séparée, d'une part, des fractions d'exposition pour les champs externes et, d'autre part, des fractions d'exposition des courants de contact et des courants induits. Comme la valeur de crête spatiale des champs électriques induits dans les tissus par les champs électriques et les champs magnétiques externes, les courants induits et les courants de contact se retrouvent dans différentes parties du corps, il faut utiliser un critère

de comparaison différent pour chaque type de champ externe et de courant dans le corps et tous les critères doivent être respectés simultanément.

Les critères de comparaison aux niveaux de référence fondés sur la SN pour des sources multiples sont les suivants :

$$\sum_i^U \left(\frac{E_{\text{rms max},i}}{E_{\text{NR-SN}}} \right) \leq 1 \quad (4 - 7)$$

$$\sum_i^V \left(\frac{H_{\text{rms max},i}}{H_{\text{NR-SN}}} \right) \leq 1 \quad (4 - 8)$$

$$\sum_i^W \left(\frac{I_{\text{rms max},i}}{I_{\text{NR-SN}}} \right) \leq 1 \quad (4 - 9)$$

Dans ces formules, les sources de l'ensemble U sont les sources dont l'intensité du champ électrique a été mesurée, les sources de l'ensemble V sont les sources dont l'intensité du champ magnétique a été mesurée et les sources de l'ensemble W sont celles dont le courant induit ou le courant de contact a été mesuré (si le courant de contact et le courant induit ont tous deux été mesurés, deux critères de comparaison ayant la forme de la somme 4-9 ci-dessus s'appliquent, soit un critère pour chaque type de courant). $E_{\text{rms max.}}$ et $H_{\text{rms max.}}$ correspondent à la valeur rms maximale de l'intensité du champ; $I_{\text{rms max.}}$ correspond à la valeur rms maximale du courant induit ou du courant de contact. $E_{\text{NR-SN}}$, $H_{\text{NR-SN}}$ et $I_{\text{NR-SN}}$ correspondent aux niveaux de référence fondés sur la SN.

L'annexe D indique une procédure qui peut être suivie dans les cas où les intensités de champ ne sont pas uniformes et où il faut donc calculer la moyenne spatiale.

Troisième cas : Certains des niveaux de référence applicables sont fondés sur la SN, d'autres sur le DAS (cas mixte)

Dans certaines situations, il est possible que des niveaux de référence fondés sur la SN et des niveaux de référence fondés sur le DAS s'appliquent pour une partie ou pour l'ensemble des fréquences sources. Il faut évaluer les fractions d'exposition pour la valeur rms maximale et la valeur rms vraie (ou la moyenne temporelle de la densité de puissance) à chacune de ces fréquences; les critères de comparaison fondés sur le DAS et sur la SN doivent alors être respectés simultanément. Par exemple, si la source 1 rayonne à une fréquence où des niveaux de référence

fondés sur la SN et le DAS s'appliquent, tandis que la source 2 rayonne à une fréquence ou seuls des niveaux de référence fondés sur le DAS s'appliquent, l'évaluation de la conformité aux niveaux de référence fondés sur la SN se fait en mesurant la valeur rms maximale de l'intensité de champ ou du courant de la source 1. L'évaluation de la conformité aux niveaux de référence fondés sur le DAS se fait quant à elle en mesurant la valeur rms vraie de l'intensité de champ ou du courant pour la source 1 et la source 2, puis en comparant à un la somme des carrés des fractions d'exposition.

Dans le cas des niveaux de référence mixtes (fondés sur le DAS et la SN), les critères de comparaison pour les intensités de champ, les courants et les densités de puissance sont ceux des formules 4-4 à 4-9. Dans ce cas, tous les critères doivent être respectés simultanément pour démontrer la conformité aux restrictions de base.

L'annexe B contient des exemples de mise en oeuvre de certains des concepts présentés ci-dessus.

4.2.5 Détermination de la moyenne spatiale

Les inspections de champs RF portent souvent sur des champs non uniformes; dans ces cas, il est possible que la valeur mesurée dépasse le niveau de référence à certains endroits et qu'elle soit inférieure à ce niveau ailleurs. Les restrictions de base peuvent quand même être respectées dans certaines de ces circonstances. Il est donc possible d'utiliser la moyenne spatiale des mesures d'intensité de champ pour la comparaison aux niveaux de référence afin d'établir si les restrictions de base sont respectées ou non.

Le calcul de la moyenne spatiale permet d'obtenir une seule valeur d'intensité pour évaluer un champ non uniforme dans l'espace afin de la comparer au niveau de référence applicable. Pour les niveaux de référence fondés sur le DAS, une méthode de calcul de la moyenne spatiale est conservatrice si, quelle que soit la taille de la personne, un champ dont la moyenne spatiale correspond au niveau de référence produit un DAS corporel moyen égal ou inférieur à la restriction de base. (On pourrait dire essentiellement la même chose pour les niveaux de référence fondés sur la SN.) De plus, les méthodes de calcul de la moyenne spatiale peuvent être conçues pour tenir compte de la valeur de crête de la moyenne spatiale du DAS dans le corps. Dans ce cas, la méthode de calcul est conservatrice si une moyenne spatiale de l'intensité de champ qui correspond au niveau de référence produit une moyenne spatiale du DAS de crête égale ou inférieure à la restriction de base. L'importance de cette question est plus grande aux fréquences de l'ordre du gigahertz.

Comme l'indique la section 4.2.2, en dessous de 10 MHz, le CS6-2015 prescrit des niveaux de référence pour l'intensité des champs électrique et magnétique visant à prévenir la stimulation des nerfs (SN) et un DAS corporel moyen excessif. La façon dont les échantillons spatiaux sont combinés pour obtenir une moyenne spatiale dépend de la base sur laquelle le niveau de référence est établi (SN ou DAS). Pour les comparaisons aux niveaux de référence fondés sur la SN, la moyenne spatiale est calculée en déterminant la moyenne arithmétique des échantillons spatiaux d'intensité de champ. Pour les comparaisons fondées sur le DAS, la moyenne spatiale est calculée à partir de la moyenne quadratique (la racine carrée de la moyenne des carrés) pour l'intensité de champ et de la moyenne arithmétique pour la densité de puissance.

Dans les gammes de fréquences applicables, les moyennes spatiales peuvent être calculées au moyen des formules suivantes :

$$\langle E_{\text{rms max.}} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{\text{rms max.}})_i \quad (4 - 10)$$

$$\langle E_{\text{rms vraie}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{\text{rms vraie}})_i^2} \quad (4 - 11)$$

$$\langle S_{\text{moy.}} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_{\text{moy.}})_i \quad (4 - 12)$$

L'opérateur $\langle \rangle$ dénote la moyenne spatiale et N correspond au nombre d'échantillons spatiaux. Les échantillons spatiaux $(E_{\text{rms max.}})_i$, $(E_{\text{rms vraie}})_i$ et $(S_{\text{moy.}})_i$ correspondent respectivement à la valeur rms maximale de l'intensité de champ, à la valeur rms vraie de l'intensité de champ et à la moyenne temporelle de la densité de puissance. Les formules de calcul de la moyenne spatiale du champ magnétique H sont identiques à celles des formules 4-10 et 4-11, sauf qu'il faut remplacer E par H.

Pour déterminer s'il est nécessaire d'évaluer la moyenne spatiale, il faut effectuer un balayage manuel afin de localiser et mesurer la valeur de crête du champ dans la zone de mesure. Si la valeur de crête du champ est inférieure au niveau de référence applicable, il n'est pas nécessaire de calculer la moyenne spatiale.

Si la valeur de crête de l'intensité de champ dépasse le niveau de référence pertinent, la moyenne spatiale peut servir à déterminer si les restrictions de base sont respectées. Des normes et des lignes directrices canadiennes, américaines, australiennes et internationales proposent diverses méthodes d'échantillonnage et donnent des renseignements généraux sur le calcul de la moyenne spatiale [5-12]. Il faudrait idéalement adopter une méthode qui a été validée, par exemple au moyen de simulations électromagnétiques, afin de vérifier que toutes les restrictions de base applicables sont respectées pendant une exposition à un champ dont la moyenne spatiale est égale au niveau de référence pour les conditions d'exposition et la taille qui correspondent au pire cas.

Comme, dans la plupart des cas, il n'est pas possible d'effectuer une telle validation, le présent document fournit des renseignements sur l'échantillonnage spatial dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 3 GHz. Pour les fréquences supérieures à 3 GHz, il est possible que le calcul de la moyenne spatiale ne fournisse pas une valeur conservatrice par rapport à la restriction de base de la moyenne spatiale du DAS de crête établie pour 1 g de tissu dans le CS6-2015.

Échantillonnage spatial à une distance relativement grande de la source ou des sources au-dessus du sol ou d'une passerelle.

- La prise d'échantillons sur une ligne verticale est une approche prudente et pourtant simple. Les mesures sont prises à partir d'au moins 20 cm de la passerelle ou du sol et jusqu'à une hauteur maximale qui dépend de la gamme de fréquences et des niveaux de référence auxquels les mesures doivent être comparées (niveaux de référence pour un environnement contrôlé ou non contrôlé).

- Dans la gamme de fréquences de résonance du corps humain dans son ensemble (environ 30 MHz à 160 MHz), la prise de mesure sur une étendue verticale moins grande (p. ex. seulement jusqu'à 1,2 m) offre une meilleure protection pour les personnes de petite taille (comme les enfants). Puisque les distributions de champ qui ont leur maximum près des pieds et qui déclinent en montant vers la tête produisent les plus grands DAS corporels moyens par unité d'intensité de champ, les échantillons pris à faible hauteur sont plus importants. Lorsque les mesures doivent être comparées aux limites pour les environnements contrôlés et que la population à protéger est constituée d'adultes, il peut être justifié de prendre des mesures à des hauteurs plus élevées (p. ex. 1,8 m).

- L'utilisation d'au moins cinq échantillons distincts s'avère être prudente pourvu que les considérations soulevées ci-dessus soient prises en compte. (L'espace entre les échantillons est de 25 cm pour une hauteur maximale de 1,2 m et de 40 cm pour une hauteur maximale de 1,8 m.) Il est également possible d'utiliser les fonctions d'échantillonnage spatial que possèdent certains instruments.

- Pour les fréquences supérieures à environ 1 GHz, la prise d'échantillon à des points précisément équidistants peut produire des mesures à une suite de creux dans la distribution du champ, ce qui produirait une estimation non conservatrice. L'utilisation d'une « oscillation » aléatoire pour la sélection des emplacements d'échantillonnage permettrait d'atténuer ce problème.

- Lorsque les intensités de champs provenant de multiples sources apportent des contributions importantes à chaque emplacement d'échantillonnage, la procédure de combinaison de ces contributions est identique à celle utilisée pour établir les critères de comparaison de la section 4.2.4. Dans ce cas, la somme du côté gauche du critère peut servir à calculer l'intensité de champ relative de l'échantillon (par rapport aux limites du CS6-2015) à chaque point d'échantillonnage spatial. La moyenne de ces valeurs relatives est ensuite calculée d'une façon similaire à celle utilisée dans les formules 4-10 et 4-12 et comparée à un. Consulter l'annexe D pour obtenir plus de renseignements sur cette procédure.

- Dans la gamme de 3 kHz à 100 kHz, la moyenne spatiale du champ magnétique n'est pas pertinente; c'est la valeur de crête de la valeur rms maximale de l'intensité du champ magnétique dans la zone à mesurer qu'il faut comparer au niveau de référence (comme l'indique la note 4 du tableau 4 du CS6-2015).

Considérations additionnelles sur l'échantillonnage spatial à une distance relativement faible d'une source unique :

- Pour la comparaison avec les limites applicables à un environnement contrôlé ou à un environnement non contrôlé, les mesures devraient être prises sur une étendue verticale correspondant à la taille d'un adulte (1,8 m).

- L'ensemble des échantillons spatiaux devrait comprendre la valeur de crête spatiale de l'intensité de champ, pourvu que celle-ci soit atteinte quelque part dans l'étendue verticale de 1,8 m.

Note : La personne effectuant les mesures devrait s'approcher de la source d'exposition avec prudence afin d'éviter le risque de surexposition. S'il existe un risque de surexposition, il est possible de réduire la puissance de la source pour prendre les mesures; l'inspecteur peut également s'approcher graduellement de la source en surveillant l'intensité du champ.

4.3 Débit d'absorption spécifique (DAS)

Le DAS devrait être déterminé dans les cas où l'exposition a lieu à 0,2 m ou moins de la source.

Les évaluations du DAS devraient être exécutées conformément aux exigences de la section 2.1.2 du CS6-2015 en ce qui concerne le volume de calcul de la moyenne à utiliser selon l'endroit du corps visé. Il ne faut pas oublier qu'il n'y a pas de relation simple entre le champ interne dans le corps humain, dont dépend le DAS, et le champ externe. Les normes suivantes donnent plus de renseignements sur l'évaluation du DAS [13-15].

La détermination du DAS pour l'exposition des humains au champ proche est difficile et peut uniquement se faire au moyen de modèles simulés du corps humain dans des conditions de laboratoire. Deux types de méthodes sont disponibles : les méthodes de calcul et les méthodes de mesure.

En ce qui concerne les méthodes de calcul, il existe deux approches générales [16]. L'une consiste à utiliser une technique analytique pour calculer la distribution de l'énergie absorbée dans des formes géométriques de tissus simplifiées comme des plaques planes, des cylindres et des sphéroïdes. L'autre utilise une formulation numérique pour analyser le couplage de l'énergie RF avec les formes plus complexes du corps humain. Les méthodes de calcul numérique du DAS comprennent notamment la méthode d'impédance, la méthode des moments et la technique des différences finies dans le domaine temporel (*finite difference time domain* – FDTD). Des représentations détaillées de la géométrie complexe et de la composition du corps humain ont été obtenues au moyen de l'imagerie par résonance magnétique [17].

Des méthodes de mesure ont été mises au point afin de déterminer le DAS dans des « fantômes anthropomorphes » composés de matériaux synthétiques équivalents aux tissus. Il existe deux méthodes de base pour mesurer le DAS :

(1) La première méthode consiste à utiliser une sonde de température pour mesurer l'échauffement induit par l'absorption d'énergie RF, puis à calculer le DAS à partir de la formule suivante :

$$\text{DAS} = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (4 - 13)$$

Dans la formule 4-13, ΔT correspond à l'échauffement (en °C) au cours de l'intervalle de temps Δt (en secondes) et c , à la chaleur massique du tissu (ou du matériau du fantôme), en J/kg °C. Cette méthode est bonne pour mesurer les DAS locaux lorsque les niveaux d'exposition sont assez intenses pour que la hausse de température puisse être mesurée au moyen des sondes disponibles (habituellement de l'ordre de 0,1 °C) et ne soit pas influencée sensiblement par des transferts de chaleur à l'intérieur ou vers l'extérieur du corps. Afin d'atténuer l'effet du

transfert de chaleur, les calculs du DAS devraient utiliser uniquement l'échauffement linéaire initial qui se produit après application de la puissance RF.

(2) La seconde méthode de base pour la détermination du DAS consiste à mesurer le champ électrique dans le corps à l'aide de sondes de champ électrique implantables, puis à calculer le DAS selon la formule suivante :

$$\text{DAS} = \sigma \frac{|E|^2}{\rho} \quad (4 - 14)$$

Dans la formule 4-14, σ correspond à la conductivité du tissu (en S/m), $|E|$, au module du champ électrique (valeur rms vraie) induit dans le tissu (en V/m) et ρ à la masse volumique (en kg/m³). Cette méthode convient uniquement pour des DAS faibles où l'énergie absorbée est insuffisante pour causer un échauffement détectable. Les instruments utilisés pour accomplir ces mesures du DAS comprennent habituellement une sonde de champ électrique implantable, un fantôme anthropomorphe et un système de positionnement de la sonde commandé par ordinateur. Les sondes produisent en général une tension en courant continu (c.c.) proportionnelle à $|E|^2$, car elles utilisent des détecteurs quadratiques. Lorsque le milieu dans lequel le DAS est déterminé est un liquide homogène, la sonde peut être étalonnée directement selon le DAS (σ et ρ sont constants), puis être utilisée pour effectuer le balayage spatial afin de produire des profils de DAS.

4.4 Courant de contact et courant induit

4.4.1 Courant de contact

Un champ électrique RF peut induire un potentiel électrique alternatif dans les objets conducteurs (métalliques) qui ne sont pas reliés à la terre ou dont la liaison à la terre est mauvaise, comme les voitures, les camions, les autobus, les grues et les clôtures. Lorsqu'une personne touche un tel objet, un courant RF circule dans son corps, de l'objet vers la terre (figure 1). L'intensité du courant dépend de l'objet (taille, forme), de la fréquence et de l'intensité du champ, ainsi que de l'impédance de la personne. L'impédance dépend à son tour de la fréquence ainsi que de la taille, du poids et de la composition (rapport de la masse maigre et de la masse grasse) du corps du sujet, du type de contact (superficie de contact, objet touché d'un seul doigt ou empoigné, peau humide ou sèche) et du type de chaussure.

Le courant de contact traversant une personne n'est perçu qu'à partir d'une certaine intensité. À une intensité élevée, il y a douleur et à une intensité très élevée, le courant peut provoquer une lésion (par exemple brûlure localisée, tétanie respiratoire, troubles cardiaques). Aux fréquences inférieures à 100 kHz

environ, la perception consiste en une sensation de fourmillement dans les doigts ou dans la main en contact avec l'objet. Aux fréquences plus élevées, il y a sensation de chaleur. Des seuils ont été établis pour la perception et la douleur dans diverses conditions [18-19].

courant de contact

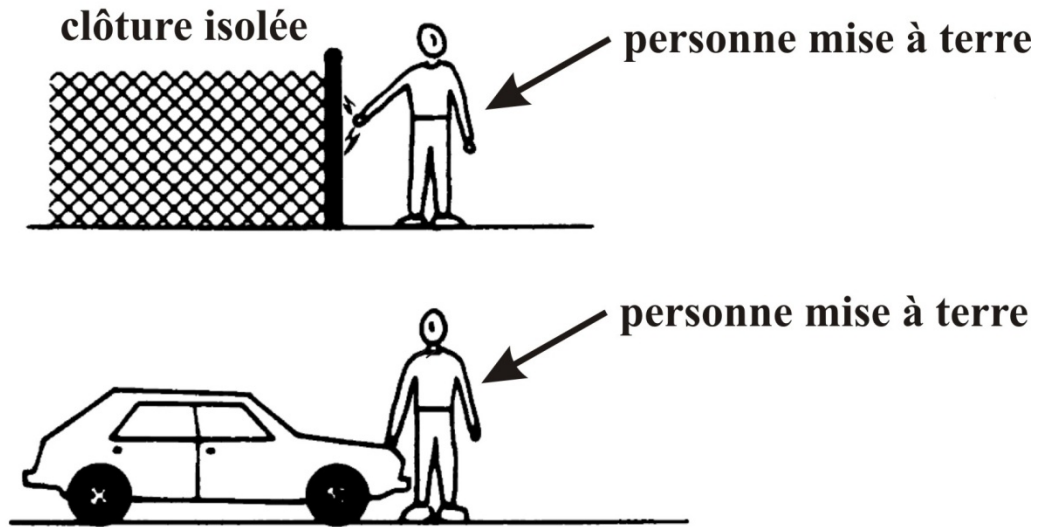


Figure 1. Situations types où les courants peuvent être perçus par des personnes touchant des objets conducteurs non mis à la terre ou imparfaitement mis à la terre.

Les courants inférieurs aux limites spécifiées à la section 2.2.3 (tableau 8) du CS6-2015 pour les environnements contrôlés peuvent être perceptibles, mais ne sont pas suffisants pour créer une douleur ou des lésions comme des brûlures. Les courants inférieurs aux limites spécifiées à la section 2.2.3 (tableau 8) du CS6-2015 pour les environnements non contrôlés sont imperceptibles.

Pour déterminer si les niveaux de référence du CS6-2015 sont respectés, le courant de contact peut être mesuré au moyen d'un circuit électronique qui représente l'impédance d'une personne moyenne en contact tactile avec un objet conducteur isolé. Ce circuit est muni d'une électrode de contact à poser sur l'objet et d'une

plaque-socle qui sert d'électrode de terre. Le courant qui circule de l'électrode de contact à l'électrode de terre représente le courant total qui traverserait le corps d'une personne [20]. Il est également possible de mesurer le courant de contact *in situ* au moyen d'un transformateur de courant RF que porte un volontaire autour de la cheville ou du poignet. Si le transformateur de mesure est porté à la cheville, il faut tenir compte du courant qui circule dans les deux jambes jusqu'au sol.

4.4.2 Courant induit

Même si une personne ne touche pas à un objet métallique, des courants RF sont induits dans son corps par des champs RF externes et ces courants peuvent traverser le corps pour se rendre au sol. Les champs électriques à polarisation verticale sont ceux qui produisent les plus grands courants induits. Le courant induit est généralement proportionnel au carré de la taille du sujet [21].

Le courant induit peut être mesuré au moyen d'un transformateur de courant RF que porte un volontaire autour de la ou des chevilles, ou à l'aide d'un appareil de mesure du courant à plateforme sur lequel le volontaire se tient debout. L'appareil à plateforme est généralement constitué d'une résistance de faible impédance raccordée entre deux plaques conductrices parallèles placées l'une au-dessus de l'autre. La plaque inférieure est posée sur le sol, tandis que le sujet se tient debout sur la plaque supérieure; la chute de tension aux bornes de la résistance est proportionnelle au courant induit [22]. Comme les niveaux de référence du CS6-2015 sont indiqués pour un seul pied, il faut tenir compte de ce fait lorsqu'un appareil de mesure à plateforme est utilisé. Pour obtenir des mesures cohérentes avec des sujets de tailles différentes, il faut tenir compte du fait que l'intensité du courant est liée à la taille du sujet.

Note : Dans certaines conditions, le courant induit ou le courant de contact peut dépasser les limites spécifiées à la section 2.2.3 (tableaux 7 et 8) du CS6-2015 même si les intensités du champ électrique sont inférieures aux limites spécifiées aux tableaux 3, 5 et 6. Ces conditions peuvent se présenter même lorsque l'intensité du champ électrique est égale à seulement 25 % de la limite d'exposition.

4.5 Dossiers et recommandations

(a) Des dossiers contenant toutes les mesures d'inspection de RF et leur évaluation devraient être conservés. Ces dossiers devraient indiquer la date à laquelle les mesures ont été prises, le nombre et les types de dispositifs dans la zone inspectée, les positions des mesures par rapport aux dispositifs émetteurs de RF, les noms des personnes et de l'organisme ayant réalisé les inspections, les résultats des inspections et les incertitudes associées [4], ainsi que le modèle, le numéro de série et la date d'étalonnage des instruments de mesure utilisés. D'autres

renseignements pourraient être utiles, comme des photographies ou des plans d'étage.

(b) Des recommandations concernant les changements à apporter au blindage, à l'emplacement et au fonctionnement du dispositif, selon l'évaluation des mesures d'inspection, devront être faites aux personnes responsables du dispositif. Une fois que les mesures correctives basées sur ces recommandations auront été prises, il faudra effectuer une autre inspection afin de vérifier l'efficacité des mesures.

5. Évaluation théorique des champs d'exposition

5.1 Zone de champ proche et zone de champ lointain

Les sources de champs RF peuvent avoir des caractéristiques très différentes selon la taille et le type d'élément rayonnant. Elles peuvent se répartir comme suit :

- (a) les grandes antennes, c'est-à-dire les antennes dont les dimensions sont supérieures à la longueur d'onde (λ),
- (b) les petites antennes, c'est-à-dire les antennes dont les dimensions sont inférieures à la longueur d'onde (λ),
- (c) les sources produisant des champs de fuite (appareils de chauffage RF diélectrique, appareils de chauffage par induction, composants radar).

L'espace autour d'une antenne source est divisé en deux zones : la zone du champ proche et la zone du champ lointain (figure 2). La zone du champ proche peut à son tour être divisée en deux régions : la région réactive et la région de rayonnement. L'espace qui entoure immédiatement l'antenne et dans lequel règne le champ induit (réactif) s'appelle région réactive du champ proche. La plus grande partie de l'énergie RF dans cette région n'est pas rayonnée, mais plutôt emmagasinée, et l'intensité du champ varie rapidement selon la distance. À une distance un peu plus grande de l'antenne, la région réactive laisse place à la région de rayonnement. Dans cette région, l'énergie se propage en s'éloignant de l'antenne, mais le rayonnement n'a pas encore un caractère d'onde plane. Au-delà de la région de rayonnement du champ proche se trouve la zone du champ lointain, où l'intensité du champ est inversement proportionnelle à la distance de l'antenne et possède les caractéristiques d'une onde plane.

Vers la fin de la région de rayonnement du champ proche et dans la zone du champ lointain, les relations suivantes existent entre le champ électrique, le champ magnétique et la densité de puissance d'onde plane équivalente.

$$\frac{E}{H} = \eta \quad (5 - 1)$$

$$\frac{E^2}{\eta} = H^2 \eta = S_{eq} \quad (5 - 2)$$

avec,

E = intensité du champ électrique, en volts par mètre (V/m)

H = intensité du champ magnétique, en ampères par mètre (A/m)

S_{eq} = densité de puissance d'onde plane équivalente, en watts par mètre carré (W/m²)

η = impédance d'onde en espace libre (pour le vide, η = 377 Ω)

La relation donnée par la formule 5-1 est importante, car dans les zones où elle est applicable (avec une certaine tolérance), l'intensité d'un champ peut toujours être établie à partir de l'intensité de l'autre champ à tous les points de l'espace. Dans ces zones, il suffit d'évaluer une valeur de champ (E, H ou S) pour déterminer si les limites d'expositions sont respectées.

Il existe diverses formules et règles qui permettent d'évaluer la distance où commence le champ lointain en fonction de la taille de l'antenne. Elles sont souvent fondées sur des critères comme le diagramme de rayonnement ou le gain de l'antenne. Il faut également tenir compte de la distance à partir de laquelle les formules d'estimation données à la section 5.2 commencent à être valides.

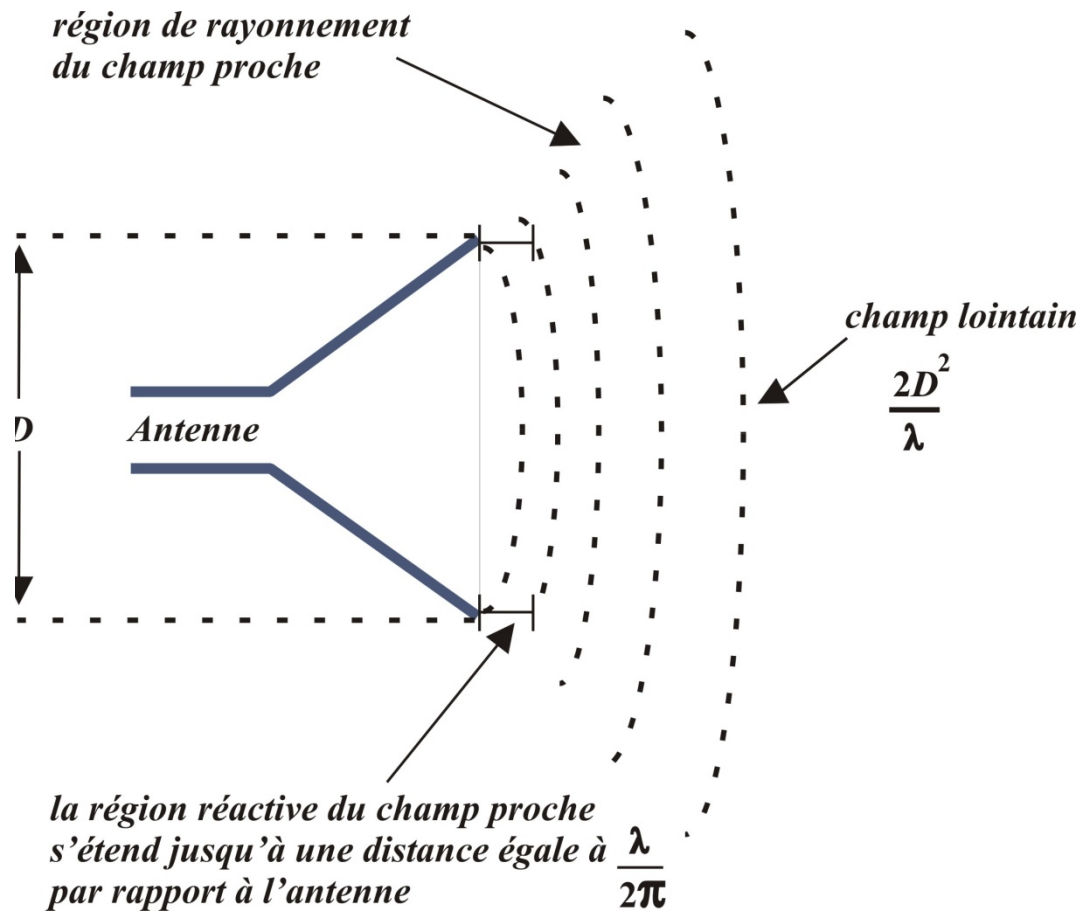


Figure 2. Distance de la région réactive du champ proche, de la région de rayonnement du champ proche et du champ lointain en fonction de la dimension de l'antenne

5.1.1 Grandes antennes

Une antenne dont la plus grande dimension est supérieure à la longueur d'onde de sa fréquence de fonctionnement est dite grande. C'est le cas des réflecteurs paraboliques, des réseaux d'antennes et des antennes cornets. La région réactive du champ proche de ces antennes s'étend jusqu'à la distance donnée ci-dessous :

$$R_s = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (5 - 3)$$

avec,

R_s = l'étendue de la région réactive du champ proche, en mètres (m)

λ = la longueur d'onde, en mètres (m).

La région réactive du champ proche de ces antennes est suivie d'une région de rayonnement où l'intensité du champ ne décroît pas nécessairement lorsque la distance de l'antenne augmente; elle peut en effet présenter un caractère oscillatoire.

La distance entre l'antenne et la zone du champ lointain se calcule généralement comme suit :

$$R_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (5 - 4)$$

Dans la formule 5-4, R_f est la distance radiale par rapport à la frontière entre le champ proche et le champ lointain, D est la plus grande dimension de l'antenne et λ est la longueur d'onde.

Au seuil de la zone du champ lointain, le déphasage maximal des ondes électromagnétiques provenant de différents points de l'antenne est de 22,5 degrés [23]. Pour déterminer la conformité de l'intensité du champ au CS6-2015, l'utilisation d'un déphasage plus grand, et donc d'une distance plus courte par rapport au début de la zone du champ lointain, est acceptable pour estimer un scénario correspondant au pire cas. Une estimation réaliste de la distance à laquelle le champ lointain d'une grande antenne commence (par exemple une antenne parabolique) est donnée par [24] :

$$R_f = \frac{0,5D^2}{\lambda} \quad (5 - 5)$$

avec,

R_f = distance par rapport au début de la zone du champ lointain, en mètres (m)

D = plus grande dimension de l'antenne, en mètres (m)

λ = longueur d'onde, en mètres (m)

5.1.2 Petites antennes

Une antenne dont la plus grande dimension n'est pas supérieure à la longueur d'onde de sa fréquence de fonctionnement est dite petite (p.ex. doublets résonants, antennes Yagi ou antennes log-périodiques). La région réactive du champ proche de ces antennes s'étend jusqu'à la distance donnée par la formule 5-3¹.

¹ Capp, C. « Near field or far field? », EDN Network, 16 août 2001, p.95-102.
Site Web : <http://www.edn.com/design/communications-networking/4340588/Near-field-or-far-field->

Pour certaines petites antennes, la formule 5-1 commence à s'appliquer (avec une erreur inférieure à 10%) à des distances d'au moins $0,5\lambda$ de l'antenne dans l'axe ou le plan de rayonnement principal [9]. Ainsi, pour les doublets dont la longueur varie entre une petite fraction de la longueur d'onde et la longueur de résonance (une demi-longueur d'onde), le rapport E/H s'écarte d'environ 10 % (ou 0,8dB) de la valeur du champ lointain (377Ω) à partir d'une distance de $0,5\lambda$, orientée selon l'axe de rayonnement principal. Cette règle empirique peut également être utilisée pour les antennes Yagi si la distance est mesurée à partir de l'élément secondaire le plus éloigné. Pour une antenne unipolaire à plan de sol, il est possible qu'il faille utiliser une distance plus grande, tout dépendant de la conception du plan de sol. Il faut étudier chaque conception individuellement afin d'évaluer la possibilité d'effets de bords du plan de sol sur la propagation des ondes. Un logiciel de modélisation électromagnétique peut être utilisé pour déterminer à quelle distance 5-1 commence à s'appliquer pour une antenne unipolaire, ou pour un autre type d'antenne particulier.

5.1.3 Sources produisant des champs de fuite

Pour ce qui est des sources de champs de fuite RF, comme les mauvais contacts entre les brides des guides d'ondes, il n'existe pas de méthode fiable permettant d'évaluer l'étendue de la zone du champ proche, son type (région réactive ou région de rayonnement) ou les intensités de champs. Certaines situations peuvent se prêter à l'utilisation de modèles informatiques pour déterminer les niveaux des champs RF; cependant, la meilleure approche est de mesurer le champ.

5.2 Formules d'évaluation de l'intensité de champ et de la densité de puissance

Il n'existe pas de formule générale pour l'estimation théorique de l'intensité de champ dans la zone du champ proche. Bien que des calculs raisonnables soient possibles pour certaines petites antennes (p. ex. doublets et antennes unipolaires), il faut, dans la plupart des situations, procéder à des mesures de l'intensité de champ ou des simulations numériques pour évaluer l'intensité de champ dans la zone du champ proche.

Dans la zone du champ lointain, la densité de puissance dans l'axe du faisceau principal peut être estimée au moyen de la formule suivante :

$$S = \frac{\text{PIRE}}{4\pi r^2} = \frac{P_T G}{4\pi r^2} \quad (5 - 6)$$

avec,

PIRE = puissance isotrope rayonnée équivalente, en watts (W)

r = distance à partir de l'antenne, en mètres (m)
 P_T = puissance nette débitée dans l'antenne, en watts (W)
 G = gain d'antenne (rapport de puissances) relativement à l'antenne isotrope

Le rapport entre le gain d'antenne et les dimensions de l'antenne [23] est exprimé par la formule suivante:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (5 - 7)$$

avec,

A_e = aire équivalente de l'antenne, $A_e = \varepsilon A$
 A = superficie de l'ouverture physique de l'antenne, en mètres carrés (m²)
 ε = rendement de l'antenne (typiquement, $0,5 \leq \varepsilon \leq 0,75$)
 λ = longueur d'onde, en mètres (m)

Une onde électromagnétique peut aussi être caractérisée par l'intensité du champ électrique et du champ magnétique. L'intensité du champ électrique produit à une distance r sur l'axe du faisceau principal par une source ayant une puissance isotrope rayonnée équivalente PIRE peut être calculée à partir des formules 5-2 et 5-6. Elle correspond à :

$$E = \frac{[30 \text{ PIRE}]^{0,5}}{r} \quad (5 - 8)$$

Dans la formule 5-8, E s'exprime en volts par mètre (V/m). Le champ magnétique correspondant peut être calculé à partir de l'intensité du champ électrique au moyen de la formule 5-1.

Des graphiques représentant la densité de puissance en fonction de l'intensité du champ électrique et du champ magnétique en espace libre dans la zone de champ lointain de l'antenne sont présentés à la figure 3.

Les formules 5-6 et 5-8 servent à déterminer la densité de puissance et l'intensité du champ électrique dans la zone du champ lointain dans les conditions correspondant au pire cas, c'est-à-dire lorsque le gain de puissance maximal (formule 5-7) est appliqué. Il importe de remarquer qu'il n'est pas toujours possible de prédire l'intensité maximale de champ dans les sites d'intérêt et autour de ceux-ci, car les champs RF peuvent être absorbés, réfléchis et réfractés par des objets de façon aléatoire et imprévisible. La meilleure façon de déterminer l'intensité réelle du champ est donc de la mesurer.

5.3 Puissance moyenne des ondes pulsées

La figure 4 montre une onde modulée par impulsion (ondes pulsées). Ce type de rayonnement est caractéristique des émissions radar.

Le facteur d'utilisation (F) pour une onde pulsée est défini à partir de la formule suivante :

$$P_a = P_p F \quad (5 - 9)$$

avec,

P_a = puissance moyenne transmise à l'émetteur, en watts (W)

P_p = puissance de crête de l'enveloppe (voir la section Définition) ou moyenne temporelle de la puissance pendant la durée de l'impulsion, en watts (W)

F = facteur d'utilisation

Pour des impulsions carrées, le facteur d'utilisation s'écrit :

$$F = \frac{T}{T_r} \quad (5 - 10)$$

avec,

T = durée de l'impulsion, en secondes (s)

T_r = temps écoulé entre le début de deux impulsions consécutives, en secondes (s)

La fréquence de répétition des impulsions est égale à :

$$f_p = \frac{1}{T_r} \quad (5 - 11)$$

avec,

f_p = la fréquence de répétition des impulsions, en hertz (Hz)

T_r = temps écoulé entre le début de deux impulsions consécutives, en secondes (s)

La moyenne temporelle de la densité de puissance ($S_{moy.}$) de l'onde électromagnétique pulsée est donnée par :

$$S_{moy.} = S_p F \quad (5 - 12)$$

avec,

S_p = moyenne temporelle de la densité de puissance pendant la durée de l'impulsion (concept semblable à celui de la puissance de crête) en watts par mètre carré (W/m^2)
 F = facteur d'utilisation

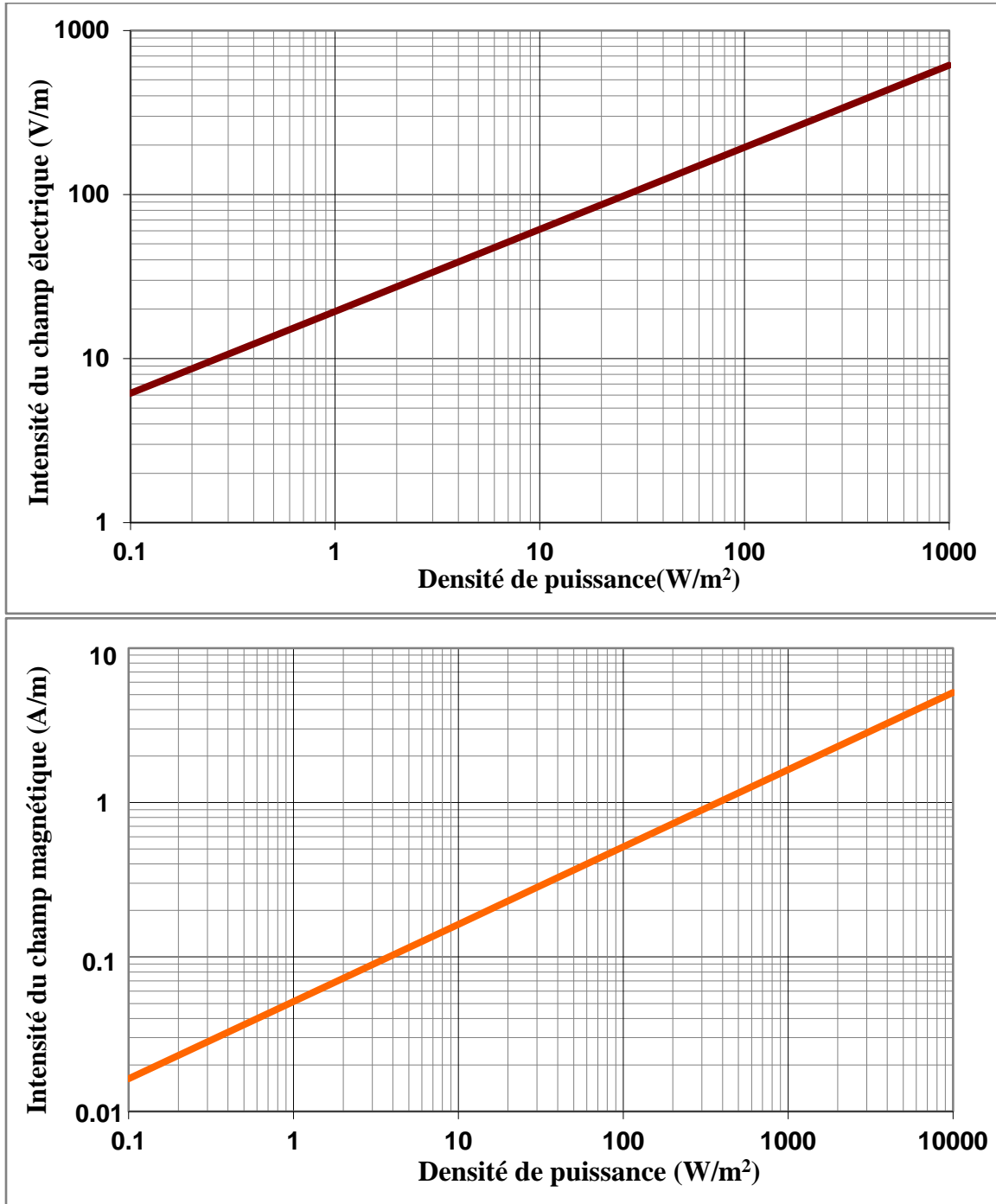


Figure 3. Abaqués de conversion pour les ondes planes. ($10 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ mW/cm}^2$)

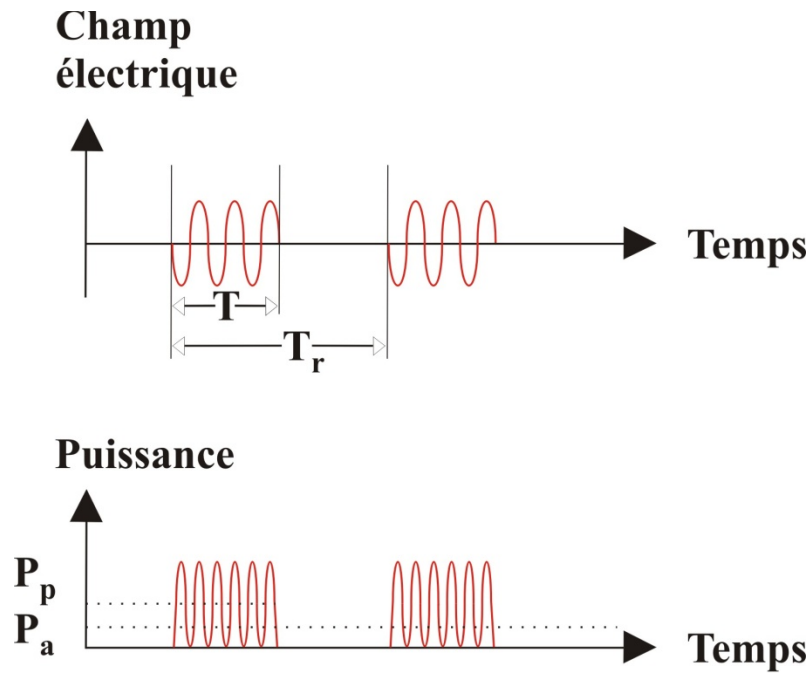


Figure 4. Champ modulé par impulsions (haut) résultant des impulsions débitées dans l'antenne (bas).

5.4 Antennes à balayage

La densité de puissance efficace observée en un point stationnaire pour une antenne à balayage en mouvement peut être évaluée à partir de la densité de puissance mesurée lorsque l'antenne est stationnaire selon la formule suivante :

$$S_m = K S_s \quad (5 - 13)$$

avec,

S_m = moyenne temporelle de la densité de puissance efficace pour l'antenne en mouvement, en watts par mètre carré (W/m^2)

K = facteur de réduction pour la rotation de l'antenne

S_s = moyenne temporelle de la densité de puissance mesurée dans l'axe du faisceau principal de l'antenne stationnaire à une même distance, en watts par mètre carré (W/m^2)

Pour la zone du champ proche, le facteur de réduction pour la rotation de l'antenne est égal à :

$$K = \frac{a}{R_\phi} \quad (5 - 14)$$

et

$$R_\phi = r\phi \quad (5 - 15)$$

avec,

a = dimension de l'antenne dans le plan de balayage (rotation), en mètres (m)

R_ϕ = circonférence du secteur balayé par l'antenne à la distance r à laquelle les mesures ont été prises, en mètres (m) (figure 5)

ϕ = angle de balayage, en radians

Pour la zone du champ lointain, le facteur de réduction pour la rotation de l'antenne est égal à :

$$K = \frac{\text{largeur de faisceau à 3 dB}}{\text{angle de balayage}} \quad (5 - 16)$$

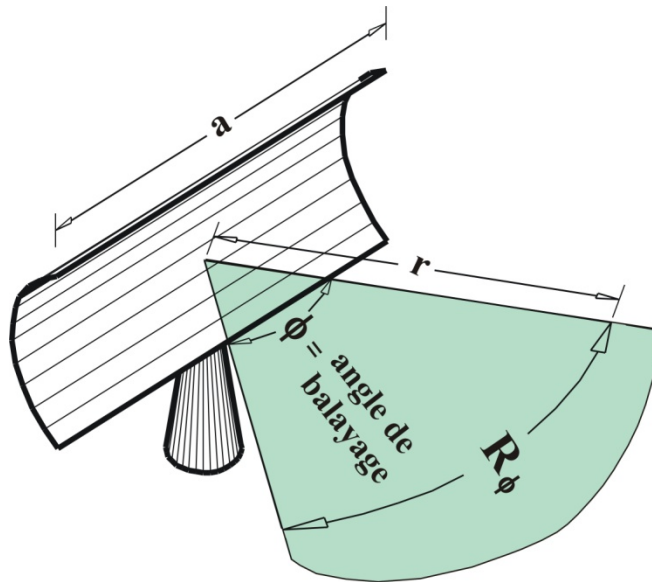


Figure 5. Facteur de réduction pour la rotation de l'antenne

Définitions

anéchoïque – Qui ne présente ni ne produit de réflexions de radiofréquences (RF).

antenne – Dispositif électrique qui convertit des courants électriques en champs électriques et magnétiques se propageant sous forme d'ondes (ondes radio ou ondes électromagnétiques) et vice-versa.

champ électrique – Grandeur vectorielle donnée à n'importe quel point dans l'espace qui définit le module et la direction de la force qui s'exercerait sur une charge d'essai hypothétique.

champ magnétique – Grandeur vectorielle donnée à n'importe quel point dans l'espace qui définit le module et la direction de la force qui s'exercerait sur une 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 total qui traverse le corps et se rend à la terre. Le courant de contact peut être produit par contact tactile d'un objet conducteur isolé chargé par un champ électrique ou par contact tactile, par un sujet isolé dont le corps a été chargé par un champ électrique, d'un objet conducteur mis à la terre.

courant induit – Courant qui circule dans les membres inférieurs d'une personne exposée à un champ électrique et rejoint le sol en passant par les pieds, le corps de cette personne n'étant en contact avec aucun objet conducteur à part le sol.

critère de comparaison – Combinaison des fractions d'exposition produites par de multiples sources indépendantes. Si le critère de comparaison est égal ou inférieur à un, le niveau de référence est respecté.

débit d'absorption spécifique (DAS) - Mesure du débit auquel l'énergie est absorbée par le corps (ou par un volume distinct de tissu) lorsqu'il est exposé à des champs radiofréquence (RF). Le DAS s'exprime en watts par kilogramme (W/kg) et il correspond au produit de la conductivité d'un tissu donné (S/m) par le carré de la valeur rms de l'intensité du champ électrique induit dans le tissu (V/m) divisé par la masse volumique (kg/m^3) du tissu.

décibel – Si x et y sont des intensités de champ ou des courants, logarithme à base 10 du rapport x/y multiplié par 20. Si ce sont des densités de puissance ou des DAS, logarithme à base 10 du rapport x/y multiplié par 10.

densité de puissance – Débit de l'énergie électromagnétique par unité de surface habituellement exprimée en W/m^2 , mW/cm^2 ou $\mu\text{W/cm}^2$.

dispositif RF – Dispositif dont le fonctionnement entraîne l'émission intentionnelle ou non intentionnelle de champs et/ou d'ondes électriques et magnétiques RF.

enveloppe rms – Courbe de la valeur rms instantanée d'une onde modulée en fonction du temps.

environnement contrôlé – Zone où les intensités des champs RF ont été caractérisées convenablement au moyen de mesures ou de calculs et où sont exposées des personnes qui sont conscientes des risques d'exposition aux champs RF, de l'intensité des champs RF dans leur environnement et des risques potentiels pour la santé associés à une exposition aux champs RF et qui sont capables de limiter ces risques au moyen de stratégies d'atténuation.

environnement non contrôlé – Zone où au moins une des conditions de définition d'un environnement contrôlé n'est pas respectée.

fraction d'exposition – Fraction du niveau de référence ou de la restriction de base applicable produite par une seule source électromagnétique lorsque de multiples sources indépendantes sont présentes.

fréquence – Pour une forme d'onde périodique, nombre de cycles ou de périodes par seconde, en hertz (Hz). Dans le présent Guide, une fréquence désigne le nombre de périodes d'une onde entretenue ou d'une onde porteuse non modulée par seconde. Lorsque l'onde est modulée, c'est la fréquence de la porteuse non modulée qui sert à calculer les niveaux de référence applicables à la forme d'onde ainsi obtenue.

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.

impédance – Mesure de l'opposition à un courant alternatif (c.a.) sinusoïdal.

intensité de champ – Module du champ électrique ou magnétique; il s'agit habituellement de la valeur rms (valeur moyenne quadratique).

isotrope – Se dit d'un corps dont les propriétés sont les mêmes dans toutes les directions.

longueur d'onde – distance parcourue par une onde qui se propage au cours d'une période d'oscillation.

micro-ondes – Partie du spectre des radiofréquences correspondant généralement aux fréquences de 1 GHz à 300 GHz et aux longueurs d'onde de 1 mm à 30 cm.

niveau de référence – Grandeur facilement mesurée ou calculée (intensité du champ électrique externe, intensité du champ magnétique externe, densité de puissance ou courant produit dans le corps), dont le respect garantit la conformité aux restrictions de base du CS6-2015.

onde entretenue (*continuous wave*, CW) – Oscillations successives identiques en régime stationnaire (porteuse non modulée).

période de référence – Période servant à calculer la moyenne des expositions à des champs RF qui varient dans le temps afin de comparer cette moyenne aux limites d'exposition du CS6-2015. Les périodes de référence définies dans le CS6-2015 sont fondées sur les effets nocifs pour la santé pertinents qu'il faut prévenir et sur le temps nécessaire pour que ces effets se produisent.

porteuse – Radiofréquence, habituellement sinusoïdale, à laquelle une modulation composée de fréquences inférieures est appliquée.

puissance de crête – Puissance moyenne débitée dans une charge pendant un cycle de la porteuse radiofréquence à la crête de l'enveloppe de modulation.

radiofréquence (RF) – Taux d'oscillation se trouvant dans la gamme d'environ 3 kHz à 300 GHz, qui correspond généralement à la fréquence des ondes électromagnétiques se propageant dans l'air qui servent à la radiocommunication.

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

région de rayonnement de la zone du champ proche – Région située entre la région réactive de la zone du champ proche et la zone du champ lointain dans laquelle le champ de rayonnement est plus important que le champ réactif, sans cependant avoir le caractère d'onde plane.

région réactive de la zone du champ proche – Région la plus rapprochée de l'antenne ou de la structure rayonnante qui contient la plus grande partie ou la quasi-totalité de l'énergie emmagasinée.

restriction de base – Valeur maximale permise d'une grandeur électrique interne dans le corps humain résultant d'une exposition à des champs externes incidents. Le respect des restrictions de base prévient l'apparition de tout effet nocif pour la santé qui a été démontré.

sonde de champ à réponse en fréquence adaptée – Sonde de champ électromagnétique (habituellement isotrope) dont la réponse en fréquence correspond à l'inverse du niveau de référence pour lequel la sonde est conçue. Ce type de sonde permet une lecture instantanée de la combinaison correctement pondérée de l'ensemble des composantes fréquentielles des champs dans sa largeur de bande. L'indication est généralement donnée en pourcentage du niveau de référence.

valeur moyenne quadratique (valeur rms) – Pour un ensemble de données, racine carrée de la moyenne du carré des valeurs des données.

valeur rms instantanée – Pour une forme d'onde, racine carrée de la moyenne du carré de la forme d'onde d'intensité instantanée de champ ou de courant, calculée sur une période de la forme d'onde de la porteuse.

valeur rms maximale – Maximum temporel de l'enveloppe rms de l'intensité de champ ou du courant.

valeur rms vraie – Racine carrée de la moyenne temporelle du carré de la valeur d'une forme d'onde. Pour une porteuse modulée, la moyenne est calculée sur une période suffisante pour obtenir une valeur rms vraie dont la valeur ne change pas si l'intervalle de calcul de la moyenne est allongé de façon incrémentale. Pour une forme d'onde non modulée sinusoïdale ou non sinusoïdale, la moyenne est calculée sur un seul cycle.

Note : Les lecteurs devraient consulter les manuels de leur instrument et, en cas de doute, le fabricant, pour s'assurer que les grandeurs temporelles mesurées par l'instrument correspondent réellement aux grandeurs définies dans le présent Guide.

verrouillage de sécurité – Commutateur servant à assurer que les portes ou les dispositifs de protection sont fermés avant le démarrage d'un processus pouvant avoir des effets nocifs aux personnes.

zone du champ lointain – Espace qui se trouve 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 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 à la même distance de la source.

Références

1. Santé Canada. *Limites d'exposition du corps humain à l'énergie de radiofréquence dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz*, Code de sécurité 6, 2015.
2. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Symboles graphiques - Couleurs de sécurité et signaux de sécurité - Signaux de sécurité enregistrés*. ISO 7010 :2011.
3. Santé Canada. « *Règlement sur les dispositifs émettant des radiations, Annexe II, Partie III, Fours à micro-ondes* ». C.R.C., ch. 1370, 2014. (http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/C.R.C.,_ch._1370/page-4.html#h-7)
4. Comité commun pour les guides en métrologie (Joint Committee for Guides in Metrology - JCGM). *Évaluation des données de mesure — Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. JCGM 100:2008. (<http://www.bipm.org/fr/publications/guides/gum.html>)
5. Standards Australia. *Radiofrequency fields - Principles and methods of measurement and computation - 3 kHz to 300 GHz*. Norme AS/NZS 2772.2:2011.
6. Commission électrotechnique internationale (CEI). *Détermination des champs de radiofréquences et du DAS aux environs des stations de base utilisées pour les communications radio dans le but d'évaluer l'exposition humaine*, Genève, Norme CEI 62232 (2011).
7. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *C95.1-2005 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, New York, États-Unis, 2005.
8. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *C95.3-2002 - IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz to 300 GHz*, New York, États-Unis, 2002.
9. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). *Radiation Protection Standard for Maximum Exposure Levels to*

Radiofrequency Fields - 3 kHz to 300 GHz, Radiation Protection Series (RPS 3), 2002.

10. Federal Communications Commission (FCC). *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*, Office of Engineering & Technology, OET Bulletin 65, édition 97-01, 1997.
11. Industrie Canada. *Lignes directrices relatives à la mesure des champs radioélectriques de la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz*, 2^e édition, Lignes directrices (LD-01), Gestion du spectre et télécommunications, 2005.
12. Industrie Canada. *Procédures de mesure selon le Code de sécurité 6 (CS6) (environnements non contrôlés)*, Note technique (NT-329), Gestion du spectre et télécommunications, 2011.
13. Commission électrotechnique internationale (CEI). *Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps – Modèles de corps humain, instrumentation et procédures – Partie 1: Détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) produit par les appareils tenus à la main et utilisés près de l'oreille (plage de fréquence de 300 MHz à 3 GHz)*, CEI 62209-1, 1^{ère} édition, 2005.
14. Commission électrotechnique internationale (CEI). *Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps – Modèles de corps humain, instrumentation et procédures – Partie 2: Procédure de détermination du débit d'absorption spécifique produit par les appareils de communications sans fil utilisés très près du corps humain (gamme de fréquences de 30 MHz à 6 GHz)*, CEI 62209-2, 1^{ère} édition, 2010.
15. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *1528-2013 - IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communication Devices: Measurement Techniques*, New York, États-Unis, 2013.
16. Lin JC et Bernardi P. *Computational Methods for Predicting Field Intensity and Temperature Change*, « Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields – Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields », 3^e éd, Boca Raton, États-Unis, 2007, FS Barnes et B Greenebaum, CRC Press.

17. Gandhi OP. *Some Numerical Methods for Dosimetry: Extremely Low Frequencies to Microwave Frequencies*, Radio Science, 30:161-177, 1995.
18. Reilly JP. *Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology*, Springer, New York, États-Unis, 1998.
19. Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). *C95.6-2002 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz*, New York, États-Unis, 2002.
20. Stuchly MA, Kozlowski JA, Symons S et Lecuyer DW. *Measurements of contact currents in radiofrequency fields*. Health Physics 60:547-557, 1991.
21. Gandhi OP, Chen JY et Riazi A. *Currents Induced in a Human Being for Plane-Wave Exposure Conditions 0-50 MHz and for RF Sealers*, IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering 33:757-767, 1986.
22. Tofani S, d'Amore G, Fiandino G, Benedetto A, Gandhi OP et Chen JY. *Induced foot-currents in humans exposed to VHF radio-frequency EM fields*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 37:96-99, 1995.
23. Stutzman WL et Thiele GA. *Antenna Theory and Design*, 2^e edition, John Wiley and Sons, New York, États-Unis, 1998.
24. Organisation mondiale de la Santé (OMS). *Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*, Environmental Health Criteria 137. Genève, Suisse, 1993.

Annexe A

Critères pour déterminer la priorité des niveaux de référence fondés sur la SN ou de ceux fondés sur le DAS en fonction des caractéristiques temporelles de la forme d'onde d'intensité de champ, de 0,1 à 10 MHz

Dans la gamme de fréquences de 0,1 à 10 MHz, où les niveaux de référence fondés sur la SN et ceux fondés sur le DAS se chevauchent, il faut respecter les deux niveaux de référence simultanément. Il faut habituellement deux ensembles d'évaluations sur le terrain : un ensemble pour évaluer la valeur rms vraie de l'intensité de champ et un autre pour la valeur rms maximale. Une seule des deux valeurs suffit parfois, selon la relation entre les valeurs des niveaux de référence applicables. Ainsi, si le rapport valeur rms vraie/valeur rms maximale (V/M) à une certaine fréquence est inférieur au rapport du niveau de référence fondé sur le DAS sur le niveau de référence fondé sur la SN (une valeur critique du rapport V/M), la conformité au niveau de référence fondé sur la SN garantit automatiquement la conformité à celui fondé sur le DAS. Dans ce cas, l'évaluation de la valeur rms maximale de l'intensité de champ suffit à démontrer la conformité aux deux types de niveaux.

On peut généraliser cette idée en remarquant que la courbe du rapport du niveau de référence fondé sur le DAS sur celui fondé sur la SN en fonction de la fréquence correspond à celle de la valeur critique du rapport V/M . Pour les formes d'onde d'intensité de champ ayant un rapport V/M inférieur à la valeur critique, la démonstration de la conformité aux niveaux de référence fondés sur la SN garantit la conformité aux niveaux de référence correspondants fondés sur le DAS. De même, pour un rapport V/M supérieur à la valeur critique, la démonstration de la conformité aux niveaux de référence fondés sur le DAS garantit la conformité aux niveaux de référence fondés sur la SN.

Le rapport V/M est une propriété des caractéristiques temporelles de la forme d'onde d'intensité de champ, un peu comme le facteur d'utilisation. Pourvu que la largeur de bande de modulation soit très petite devant la fréquence porteuse, le rapport V/M est le même dans le champ proche et dans le champ lointain pour le champ électrique et le champ magnétique; il est identique à celui du signal débité dans l'antenne. (Pour les formes d'ondes RF à impulsions carrées, le rapport V/M est égal à la racine carrée du facteur d'utilisation). Il est donc possible de déterminer le rapport V/M sans faire de mesure d'intensité de champ, par exemple en utilisant les caractéristiques connues du signal qui module la porteuse.

Dans le cas des distributions de champ non uniformes, les formules 4-10 et 4-11 de la section 4.2.5 permettent de voir que l'utilisation de différentes façons de calculer la moyenne spatiale (moyenne arithmétique pour les valeurs rms maximales; moyenne quadratique pour les valeurs rms vraies) fait en sorte que le rapport de la moyenne spatiale de l'intensité de champ rms vraie sur celle de l'intensité de champ maximale varie légèrement relativement au rapport V/M du signal. L'effet de cette divergence est réduit pour les champs non uniformes dont le gradient sur une étendue verticale correspondant à la taille d'un adulte ne dépasse pas 10:1 ou 20 dB. Avec un tel gradient, le rapport $\langle E_{\text{rms vraie}} \rangle / \langle E_{\text{rms max.}} \rangle$ estimé dépasse de 10 % le rapport V/M du signal. Cette variation peut être compensée en réduisant de 5 % les valeurs critiques du rapport V/M relativement au rapport des niveaux de référence.

(Remarque : l'analyse qui précède est fondée sur l'hypothèse d'un champ non uniforme qui présente un gradient linéaire sur une ligne verticale qui va d'une hauteur de 0,2 m à une hauteur de 1,8 m avec une pente négative ou positive dont la valeur absolue varie entre 1:1 et 10:1. La valeur critique du rapport V/M est réduite d'un facteur allant de 0 % pour une distribution uniforme à 10 % pour une distribution comportant un gradient d'intensité de 10:1.

Les erreurs créées par cette correction de la valeur critique sont maximales quand :

- a. Le gradient de l'intensité du champ sur l'étendue verticale qui va d'une hauteur de 0,2 m à une hauteur de 1,8 m est de 10:1, le rapport V/M du signal correspond à la valeur critique corrigée et la moyenne spatiale de la valeur rms maximale de l'intensité du champ est égale au niveau de référence. Dans ces conditions, la moyenne spatiale de la valeur rms vraie de l'intensité du champ vraie dépasse son niveau de référence de 5 %.
- b. Le gradient de l'intensité du champ est de 1:1 (la distribution est uniforme), le rapport V/M du signal correspond à la valeur critique corrigée et la valeur rms vraie de l'intensité du champ est égale au niveau de référence. Dans ces conditions, la valeur rms maximale de l'intensité du champ dépasse son niveau de référence de 5 %.

Les valeurs critiques corrigées du rapport V/M obtenues en appliquant ce qui précède sont indiquées ci-dessous (V/M_e pour le champ électrique et V/M_h pour le champ magnétique). Elles sont calculées à partir des rapports des niveaux de référence fondés sur le DAS sur les niveaux de référence fondés sur la SN des tableaux 3 et 4 du CS6-2015 en fonction de la fréquence et réduites d'un facteur de 5 % pour tenir compte de la non-uniformité du champ :

$$V/M_e = 0,996 / \sqrt{f_{\text{MHz}}} \quad 1,10 < f_{\text{MHz}} < 10, \text{ environnement non contrôlé}$$

$$V/M_e = 1,079 / \sqrt{f_{\text{MHz}}} \quad 1,29 < f_{\text{MHz}} < 10, \text{ environnement contrôlé}$$

$$V/M_h = 0,00771 / f_{\text{MHz}} \quad 0,10 < f_{\text{MHz}} < 10, \text{ environnement non contrôlé}$$

$$V/M_h = 0,00844 / f_{\text{MHz}} \quad 0,10 < f_{\text{MHz}} < 10, \text{ environnement contrôlé}$$

les indices e et h servant à indiquer qu'il s'agit de l'intensité du champ électrique ou magnétique et f_{MHz} étant la fréquence en MHz.

Les graphiques des figures A1 à A4 illustrent ces concepts. Pour utiliser ces graphiques, il faut d'abord évaluer le rapport V/M du champ par des mesures ou à partir des caractéristiques connues du signal ou de la modulation. Si le rapport V/M en décibels se trouve dans la portion bleue à la fréquence visée, il suffit de mesurer la valeur rms vraie du champ et de la comparer au niveau de référence pertinent fondé sur le DAS. La conformité de la valeur rms vraie de l'intensité du champ entraîne nécessairement celle de la valeur rms maximale. De même, un rapport V/M en décibels se trouvant dans la portion rouge indique qu'il suffit d'évaluer la valeur rms maximale de l'intensité du champ.

Exemple A-1

Un émetteur produit un signal RF pulsé à 3,0 MHz avec un facteur d'utilisation de 10 %. Le champ doit être mesuré dans le champ proche et les valeurs obtenues doivent être comparées aux niveaux de référence pour un environnement non contrôlé. Il faut déterminer s'il est possible de mesurer seulement la valeur rms vraie ou la valeur rms maximale de l'intensité des champs électrique et magnétique.

Le rapport V/M des formes d'onde d'intensité de champ (champ électrique et champ magnétique) correspond à la racine carrée du facteur d'utilisation :

$$V/M = \sqrt{0,1} = 0,32$$

Les valeurs critiques corrigées du rapport V/M pour l'environnement non contrôlé sont :

$$V/M_e = \frac{0,996}{\sqrt{3,0}} = 0,58 \quad V/M_h = \frac{0,00771}{3,0} = 0,00257$$

Pour le champ électrique, le rapport V/M de la forme d'onde (0,32) est inférieur à la valeur critique corrigée (0,58); il suffit donc d'échantillonner la valeur rms maximale du champ électrique et d'en déterminer la moyenne spatiale. Si le résultat est conforme au niveau de référence fondé sur la SN, le niveau de référence fondé sur le DAS est aussi respecté.

Pour le champ magnétique, le rapport V/M de la forme d'onde (0,32) est supérieur à la valeur critique corrigée (0,00257); il suffit donc d'échantillonner la valeur rms vraie du champ magnétique et d'en déterminer la moyenne spatiale. Si le résultat est conforme au niveau de référence fondé sur le DAS, le niveau de référence fondé sur la SN est aussi respecté.

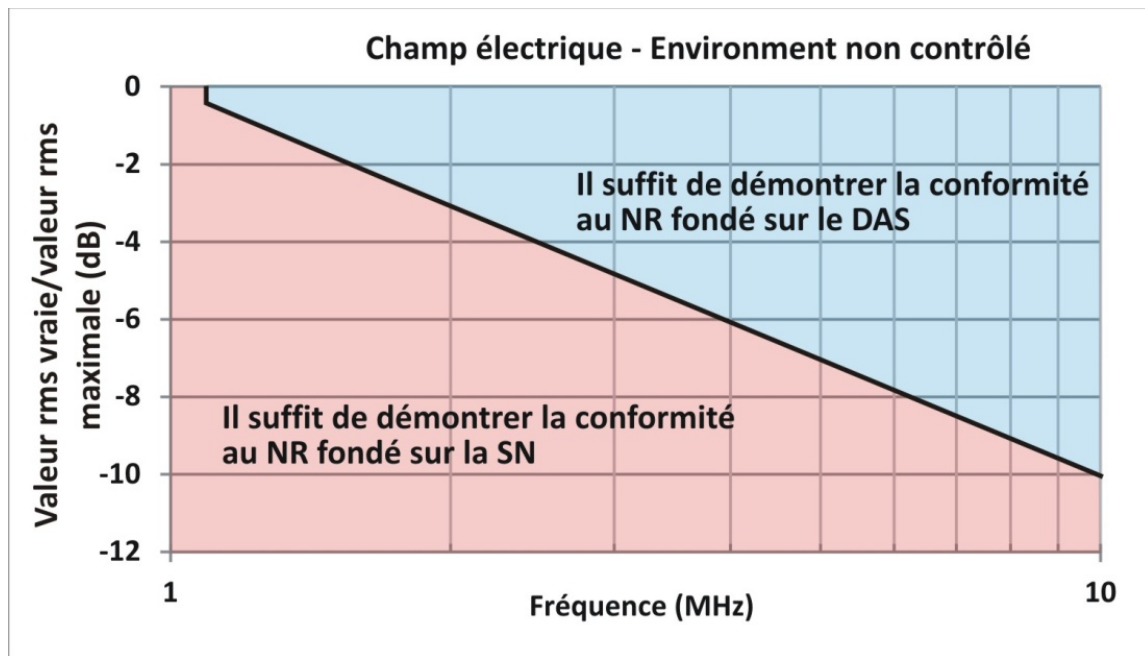


Figure A1. Critères d'évaluation de l'intensité du champ électrique pour la comparaison au niveau de référence du champ électrique dans les environnements non contrôlés.

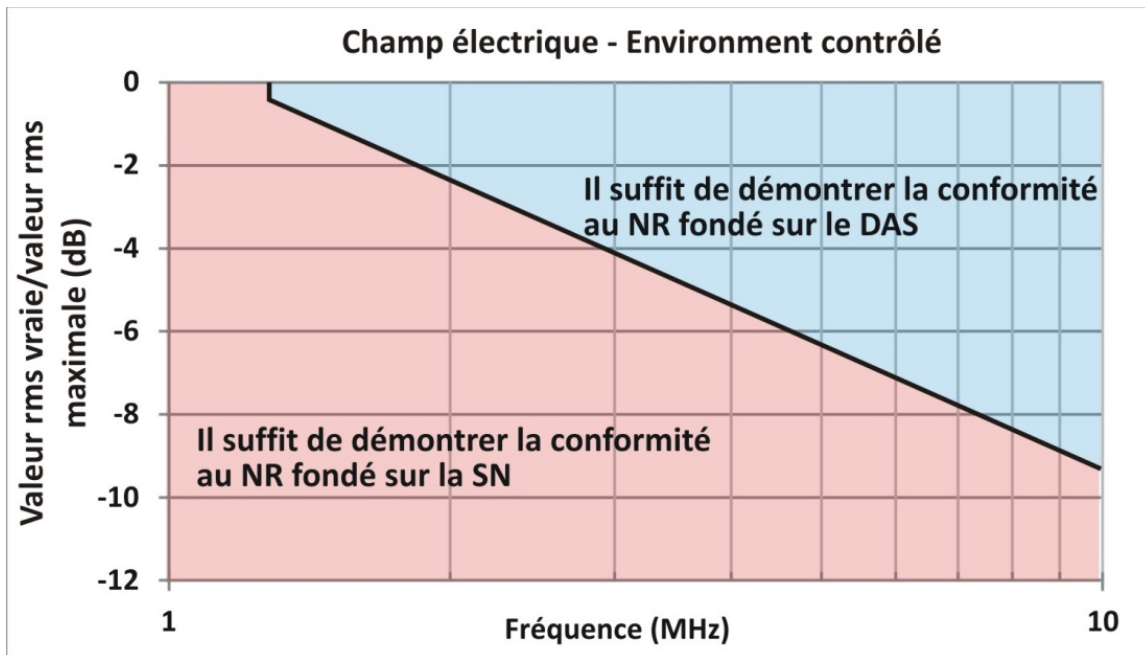


Figure A2. Critères d'évaluation de l'intensité du champ électrique pour la comparaison au niveau de référence du champ électrique dans les environnements contrôlés.

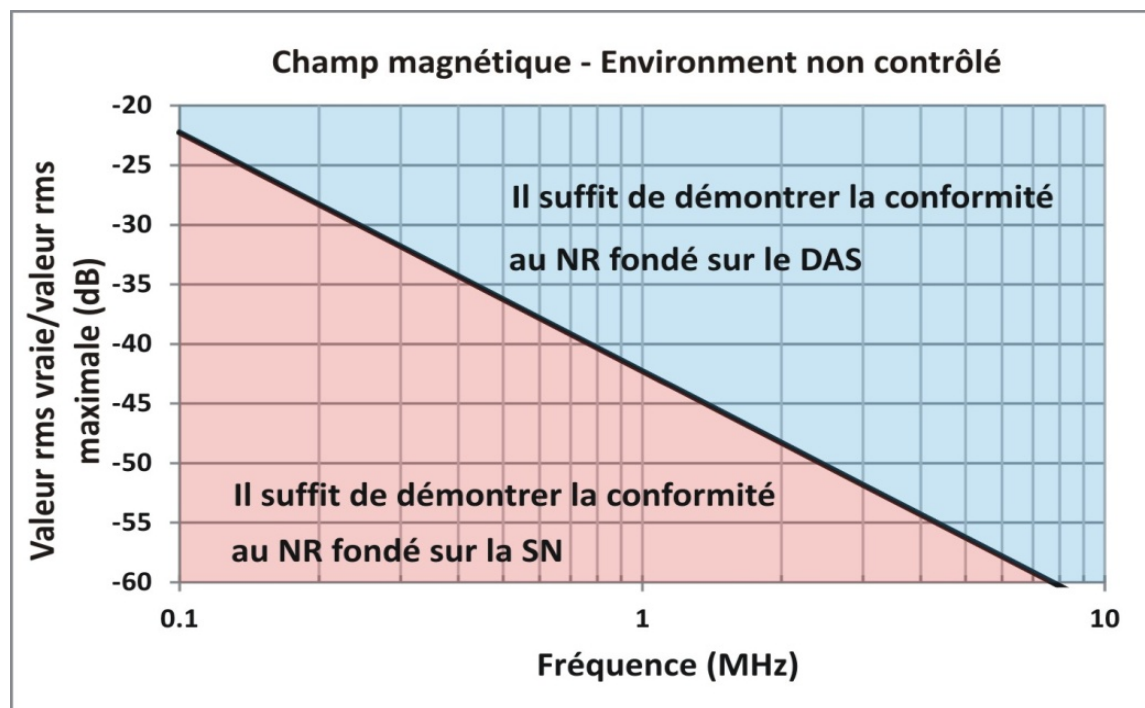


Figure A3. Critères d'évaluation de l'intensité du champ magnétique pour la comparaison au niveau de référence du champ magnétique dans les environnements non contrôlés.

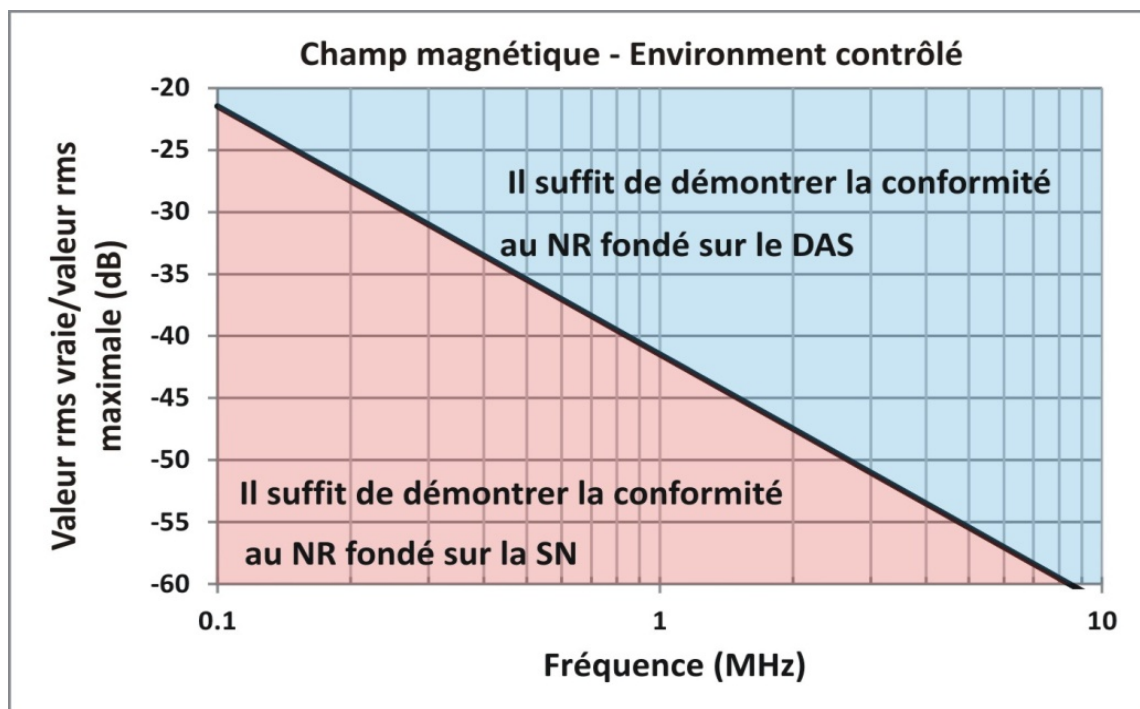


Figure A4. Critères d'évaluation de l'intensité du champ magnétique pour la comparaison au niveau de référence du champ magnétique dans les environnements contrôlés.

Annexe B

Exemples d'évaluation de l'exposition produite par des sources multiples

Exemple B-1 : Sources multiples avec des NR fondés sur le DAS et des NR fondés sur la SN

Un site comporte un émetteur AM émettant à 1,6 MHz et un émetteur de radiodiffusion FM émettant à 100 MHz. Il faut réaliser une évaluation de la conformité pour un environnement contrôlé. Les niveaux de référence d'intensité du champ électrique et du champ magnétique pour un environnement contrôlé sont :

$$f = 1,6 \text{ MHz} : E_{\text{NR-SN}} = 170 \text{ V/m}, \quad E_{\text{NR-DAS}} = 152,6 \text{ V/m}, \\ H_{\text{NR-SN}} = 180 \text{ A/m}, \quad H_{\text{NR-DAS}} = 1 \text{ A/m}$$

$$f = 100 \text{ MHz} : E_{\text{NR-DAS}} = 49,3 \text{ V/m}, \quad H_{\text{NR-DAS}} = 0,131 \text{ A/m}, \\ S_{\text{NR-DAS}} = 6,46 \text{ W/m}^2$$

La mesure de l'enveloppe de la forme d'onde de l'émetteur AM de 1,6 MHz au moyen d'un analyseur de spectre indique que le rapport de la valeur rms vraie sur la valeur rms maximale est de 0,5, soit -6 dB. Si l'inspection ne portait que sur la source AM, il suffirait de mesurer la valeur rms maximale de l'intensité du champ électrique et la valeur rms vraie de l'intensité du champ magnétique (voir les figures A2 et A4 de l'annexe A). Le respect de ces deux limites garantirait le respect des autres. Toutefois, comme les intensités du champ de l'émetteur AM contribuent au DAS corporel moyen, il est nécessaire de tenir compte de leur contribution aux conditions de comparaison fondées sur le DAS.

Des mesures de la moyenne spatiale de la valeur rms maximale du champ électrique et de la valeur rms vraie du champ magnétique de la source AM ont été réalisées au moyen d'instruments adaptés à la bande AM. La méthode de détermination de la moyenne spatiale utilisée pour les deux sources est la méthode de la moyenne linéaire verticale. Les mesures ont été prises dans la zone du champ lointain pour l'émetteur FM et dans la zone du champ proche pour l'antenne AM. Dans la bande AM, la moyenne spatiale de l'intensité rms vraie du champ électrique et la moyenne spatiale de l'intensité rms maximale du champ magnétique ont été calculées à partir des rapports V/M déjà mesurés. Des mesures de la moyenne spatiale de la densité de puissance de la source FM ont également été prises.

Les données mesurées et calculées sont données dans le tableau suivant ($E_{\text{rms vraie}}$ et $H_{\text{rms max.}}$ à 1,6 MHz :

Tableau B-1. Données servant à calculer le critère de comparaison pour de multiples sources à l'exemple B-1

Fréquence (MHz)	Moyenne spatiale $E_{rms\ max.}$ (V/m)	Moyenne spatiale $E_{rms\ vraie}$ (V/m)	Moyenne spatiale $H_{rms\ max.}$ (A/m)	Moyenne spatiale $H_{rms\ vraie}$ (A/m)	Moyenne spatiale $S_{moy.}$ (W/m^2)
1,6	140	70	1,8	0,9	-
100	-	-	-	-	5,0

Les données du tableau indiquent que le site est conforme aux niveaux de référence fondés sur la SN.

Les deux critères de comparaison fondés sur le DAS sont calculés au moyen : 1) de l'intensité du champ électrique à 1,6 MHz et de la densité de puissance à 100 MHz et 2) de l'intensité du champ magnétique à 1,6 MHz et de la densité de puissance à 100 MHz.

$$E (1,6\ MHz) \text{ et } S (100\ MHz) : (70/152,6)^2 + (5,0/6,46) = 0,98$$

$$H (1,6\ MHz) \text{ et } S (100\ MHz) : (0,9/1,0)^2 + (5,0/6,46) = 1,58$$

La conformité aux niveaux de référence fondés sur le DAS exige que les deux critères soient inférieurs à un. Ainsi, la contribution additionnelle de l'intensité du champ magnétique à 1,6 MHz fait en sorte que le site n'est pas conforme aux niveaux de référence. Cependant, si on démontre que la restriction de base fondée sur le DAS est respectée au moyen d'une simulation électromagnétique ou d'un autre moyen, le site peut être considéré comme conforme.

Exemple B-2 : Courant induit et sources multiples avec NR fondés sur la SN et sur le DAS

Un site comporte deux sources, l'une à 0,1 MHz et l'autre à 1 MHz. L'intensité du champ électrique pour les deux fréquences dépasse le seuil à partir duquel il est recommandé de mesurer le courant induit (intensité du champ électrique correspondant à 25 % du niveau de référence) tout en restant sous les niveaux de référence. Il faut déterminer la conformité aux niveaux de référence pour un environnement contrôlé. Les niveaux de référence pour le courant induit sont les suivants :

$$f = 0,1\ MHz : I_{NR-SN} = 22,5\ mA \text{ (un seul pied)} \text{ ou } 45\ mA \text{ (les deux pieds)}$$

$$f = 1,0\ MHz : I_{NR-DAS} = 90\ mA \text{ (un seul pied)} \text{ ou } 180\ mA \text{ (les deux pieds)}$$

Comme il n'y a pas d'utilisation mixte de niveaux de référence fondés sur la SN et de niveaux de référence fondés sur le DAS, il suffit de mesurer la valeur rms maximale du courant à 0,1 MHz et la valeur rms vraie du courant à 1,0 MHz.

Une mesure du courant induit dans les deux pieds a été réalisée; les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau B-2. Valeurs mesurées du courant induit dans les deux pieds pour l'exemple B-2

Fréquence (MHz)	$I_{\text{rms}} \text{ vraie}$ (mA)	$I_{\text{rms}} \text{ max.}$ (mA)
0,1	-	44,0
1,0	179,0	-

Prises individuellement, les composantes fréquentielles du courant induit respectent de peu leur niveau de référence respectif. Prises ensemble, elles sont également conformes, car chacune d'elles ne représente qu'une seule fraction d'exposition (puisque'il n'y a pas de niveaux de référence fondés sur la SN et sur le DAS qui se chevauchent pour le courant induit).

Exemple B-3 : Sources multiples avec des mesures mixtes du champ électrique, du champ magnétique et de la densité de puissance

Une personne autorisée à travailler dans un environnement contrôlé est exposée à des champs RF à quatre fréquences différentes. Des mesures d'exposition ont été prises et leurs moyennes spatiales et temporelles ont été calculées, ce qui produit les conditions suivantes :

- Source 1: Champ électrique (valeur rms vraie) : 10,0 V/m à 15 MHz
 Champ magnétique (valeur rms vraie) : 0,06 A/m à 15 MHz
- Source 2 : Champ magnétique (valeur rms vraie) : 0,1 A/m à 27 MHz
- Source 3 : Champ électrique (valeur rms vraie) : 30 V/m à 915 MHz
- Source 4 : Densité de puissance (moyenne temporelle) : 20 W/m² à 10 000 MHz

Comme toutes les sources ont une fréquence supérieure à 10 MHz, seuls les niveaux de référence fondés sur le DAS s'appliquent. Comme E et H ont été mesurés pour la source 1, les deux critères de comparaison (formules 4-4 et 4-5) devraient être calculés. (Remarque : il n'est pas indiqué si les mesures ont été prises dans le champ proche ou dans le champ lointain; les critères de comparaison sont calculés de la même façon dans les deux cas.)

Les fractions d'exposition des quatre sources sont les suivantes (les niveaux de référence sont tirés du tableau 6 du CS6-2015) :

- Source 1 : $(E_{\text{rms vraie}}/E_{\text{NR}})^2 = (10,0/61,4)^2$ pour 15 MHz
 (dans la gamme de fréquences 10–20 MHz)
 $(H_{\text{rms vraie}}/H_{\text{NR}})^2 = (0,06/0,163)^2$ pour 15 MHz
 (dans la gamme de fréquences 10–20 MHz)
- Source 2 : $(H_{\text{rms vraie}}/H_{\text{NR}})^2 = (0,1/0,151)^2$ pour 27 MHz
 (dans la gamme de fréquences 20–48 MHz)
- Source 3 : $(E_{\text{rms vraie}}/E_{\text{NR}})^2 = (30/85,8)^2$ pour 915 MHz
 (dans la gamme de fréquences 0,10–6 GHz)
- Source 4 : $(S_{\text{moy.}}/S_{\text{NR}}) = 20/50$ pour 10 GHz
 (dans la gamme de fréquences 6–15 GHz)

Le calcul de la somme pour le critère de comparaison de la formule 4-4 donne :

$$(10,0/61,4)^2 + (0,1/0,151)^2 + (30/85,8)^2 + 20/50 = 0,99$$

Le calcul de la somme pour le critère de comparaison de la formule 4-5 donne :

$$(0,06/0,163)^2 + (0,1/0,151)^2 + (30/85,8)^2 + 20/50 = 1,10$$

Pour assurer la conformité, les deux critères doivent être respectés. Comme le critère de la formule 4-5 est supérieur à un, la combinaison des intensités de champ et de la densité de puissance des quatre sources n'est pas conforme aux limites d'exposition spécifiées à la section 2.2 du CS6-2015.

Annexe C

Exemples d'évaluation de l'exposition au moyen de calculs et exemple de calcul de la moyenne sur six minutes

Exemple C-1 : Calcul de la distance minimale à partir de laquelle l'exposition respecte les limites.

Une antenne parabolique (diamètre de 0,5 m) exploitée à 1,2 GHz (1200 MHz) avec une PIRE de 50 W doit être installée dans un endroit accessible au grand public (environnement non contrôlé). Quelle est la distance minimale de l'antenne à partir de laquelle l'exposition ne dépasse pas les limites spécifiées à la section 2 du CS6-2015 pour les environnements non contrôlés?

Étape 1. Calculer la limite de densité de puissance pour un environnement non contrôlé à partir de la section 2.2.2 du CS6-2015 (tableau 5) :

$$S_{\text{limite}} = 0,02619 f^{0,6834} = 0,02619 \times (1200)^{0,6834} = 3,33 \text{ W/m}^2$$

Étape 2. Calculer la distance minimale en isolant la distance de l'antenne r dans la formule 5-6 :

$$\begin{aligned} r_{\text{min.}} &= [\text{PIRE}/(4\pi S_{\text{limite}})]^{0,5} \\ &= [50,0/(4,0 \times 3,14159 \times 3,33)]^{0,5} \\ &= 1,09 \text{ m} \end{aligned}$$

Étape 3. Vérifier que la distance minimale calculée ci-dessus se trouve dans la zone du champ lointain (où la formule 5-6 est valide) :

D'abord, calculer la longueur d'onde (λ):

$$\lambda = 300/f \text{ (} f \text{ en MHz)} = 300/1200 = 0,25 \text{ m}$$

Comme le diamètre de l'antenne (0,5 m) est supérieur à la longueur d'onde (0,25 m), l'antenne devrait être considérée comme une grande antenne. La distance du début de la zone du champ lointain est donc calculée au moyen de la formule 5-5 en utilisant le diamètre de l'antenne comme valeur du paramètre D :

$$R_f = 0,5 D^2/\lambda = 0,5 \times (0,5)^2/0,25 = 0,5 \text{ m}$$

Comme la distance minimale calculée ci-dessus (1,09 m) est dans la zone du champ lointain, la base de calcul est valide. Les membres du grand public ne devraient donc pas se tenir à moins de 1,09 m directement devant l'antenne.

Exemple C-2 : Estimation de la densité de puissance moyenne à une distance de 450 m devant l'antenne d'un radar ayant les caractéristiques suivantes :

Fréquence d'exploitation (f) :	10 GHz (gigahertz)
Puissance de crête d'émission (P_p) :	1 MW (mégawatt)
Durée d'impulsion (T) :	3 μ s (microsecondes)
Fréquence de répétition d'impulsion (f_p) :	400 Hz
Dimension de l'antenne (D) :	5 m de diamètre (antenne parabolique)
Rendement de l'antenne (ε) :	70 %

Étapes de calcul :

Étape 1. Longueur d'onde : $\lambda = 300/f$ (f en MHz) = 0,03 m

Étape 2. Distance à partir de laquelle la zone du champ lointain commence :
 $R_f = 0,5 D^2/\lambda = 417$ m

Un endroit situé à 450 m de l'antenne est dans la zone du champ lointain.

Étape 3. Ouverture de l'antenne : $A = \pi D^2/4 = 19,63$ m²

Étape 4. Gain d'antenne : $G = 4\pi\varepsilon A/\lambda^2 = 191\,800$

Étape 5. Facteur d'utilisation : $F = T f_p = 1,2 \times 10^{-3}$

Étape 6. Puissance moyenne : $P_a = P_p F = 1,2$ kW
Il s'agit de la puissance nette fournie à l'antenne, P_T

Étape 7. À une distance de 450 m, la densité de puissance moyenne est :
 $S_m = P_T G / (4\pi r^2) = 90,5$ W/m²

L'exposition d'une personne à cette distance devrait être évitée ou limitée à une courte durée, puisque la densité de puissance dépasse les limites (50 W/m² pour un environnement contrôlé, 10 W/m² pour un environnement non contrôlé).

Exemple C-3 : Détermination de la densité de puissance apparente à 10 m et 30 m d'une antenne à balayage en mouvement, compte tenu des paramètres suivants :

Densité de puissance à 10 m lorsque l'antenne est stationnaire :	100 W/m ²
Densité de puissance à 30 m lorsque l'antenne est stationnaire :	20 W/m ²
Distance du début de la zone du champ lointain :	20 m
Rotation de l'antenne (ϕ) :	complète (360° ou 2π radians)
Dimensions de l'ouverture de l'antenne (a, b) :	largeur de 2 m, hauteur de 10,16 cm
Largeur de faisceau de l'antenne :	1,23° dans le plan horizontal, 25° dans le plan vertical

Étapes de calcul :

Étape 1. À une distance de 10 m, on se trouve dans la zone du champ proche.

Circonférence de balayage de l'antenne : $R_\phi = 2\pi \times 10$ m

Facteur de réduction pour la rotation de l'antenne :

$$K = a/R_\phi = 2/(2\pi \times 10) = 0,1/\pi$$

Densité de puissance apparente de l'antenne en mode de balayage :

$$S_m = KS_s = (0,1/\pi)(100) = 3,2 \text{ W/m}^2$$

Étape 2. Pour la distance de 30 m, qui se trouve dans la zone du champ lointain, le facteur de réduction pour la rotation de l'antenne est différent :

$$K = \text{largeur de faisceau à 3 dB/angle de balayage} = 1,23^\circ/360^\circ$$

Densité de puissance apparente de l'antenne en mode de balayage :

$$S_m = KS_s = (1,23/360)(20) = 0,07 \text{ W/m}^2$$

Exemple C-4 : Calcul de la moyenne sur une période de six minutes.

La zone devant un émetteur doit être traversée par des travailleurs autorisés à travailler à une installation en présence de RF dans le cadre de leurs fonctions. Il faut concevoir une signalisation et une formation visant à restreindre l'exposition afin d'assurer la sécurité des employés. Il faut indiquer le temps maximal qu'un employé peut prendre pour traverser la zone devant l'émetteur. Les mesures indiquent que la moyenne spatiale de la densité de puissance dans la zone à traverser correspond au quadruple du niveau de référence pour un environnement contrôlé. Déterminer le temps maximal permis pour traverser la zone.

Rappelons que la moyenne temporelle de la densité de puissance est une moyenne arithmétique. La moyenne temporelle de la densité de puissance sur une période de six minutes, $S_{6 \text{ min}}$, se calcule au moyen de la formule suivante :

$$S_{6 \text{ min}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 S_i$$

avec S_i , la moyenne temporelle de la densité de puissance au cours de la i^e minute. Soit T le temps de traversée en minutes. Les échantillons temporels individuels de densité de puissance S_i ont tous la même valeur, soit la densité de puissance constante S . Diviser les deux côtés de l'équation par le niveau de référence de densité de puissance, S_{NR} , permet de récrire la formule pour obtenir une fraction d'exposition :

$$\frac{S_{6\ min}}{S_{NR}} = \frac{1}{6} \left(T \frac{S}{S_{NR}} \right) \leq 1$$

La présence de l'inégalité (≤ 1) est due au fait que la moyenne temporelle de la densité de puissance sur une période de 6 minutes doit être inférieure ou égale au niveau de référence. En remplaçant S/S_{NR} par 4 et en isolant T , on obtient $T \leq 1,5$ min. Par conséquent, la signalisation et la formation devraient informer les travailleurs qu'ils doivent traverser la zone en 1,5 min ou moins.

Annexe D

Calcul de la moyenne spatiale pour des sources multiples

Le calcul de la moyenne spatiale peut être nécessaire aux endroits où deux sources ou plus contribuent de façon importante au niveau d'exposition total. Dans ce cas, chaque échantillon spatial devrait être composé des contributions pondérées à chaque fréquence; les échantillons devraient être combinés de la même façon que les critères de comparaison de la section 4.2.4. La pondération est faite en divisant l'intensité de champ à chaque fréquence par le niveau de référence correspondant. L'échantillon spatial ainsi pondéré représente une « fraction du niveau de référence » de la même façon qu'une mesure faite au moyen d'une sonde de champ à réponse en fréquence adaptée représente un « pourcentage du niveau de référence ».

Une fois tous les échantillons spatiaux pondérés, leur moyenne peut être calculée au moyen des formules 4-10 à 4-12 de la section 4.2.5 selon le type de grandeur de champ mesurée (pour un NR fondé sur la SN ou le DAS). Le reste de l'annexe donne des procédures explicites pour le calcul des moyennes spatiales dans les principaux cas.

Commençons par présupposer que toutes les mesures sont des mesures de densité de puissance et qu'il y a N échantillons spatiaux, numérotés de $i=1$ à $i=N$, et M fréquences, numérotées de $j=1$ à $j=M$. Le critère de comparaison de la densité de puissance pour le i^{e} échantillon spatial, $C_{S,i} \leq 1$, est obtenu en appliquant la formule (4-4) ou (4-5) de la section 4.2.4 :

$$C_{S,i} = \sum_{j=1}^M \frac{S_{\text{moy},j}}{S_{\text{NR},j}} \quad (\text{D} - 1)$$

Ici, $C_{S,i}$ est la « fraction du niveau de référence » pour la densité de puissance à la position spatiale du i^{e} échantillon. La densité de puissance $S_{\text{moy},j}$ est la moyenne temporelle de la densité de puissance mesurée à la j^{e} fréquence, tandis que $S_{\text{NR},j}$ est le niveau de référence pour la densité de puissance à la j^{e} fréquence. La somme est calculée sur les M fréquences correspondant à $f_1 \dots f_j \dots f_M$.

Comme la moyenne spatiale de la densité de puissance est la moyenne arithmétique des échantillons (formule 4-12), la moyenne des « fractions du niveau de référence » aux N positions d'échantillonnage est calculée et comparée à un pour déterminer si l'emplacement est conforme :

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_{S,i} \leq 1 \quad (\text{D} - 2)$$

Si la moyenne des « fractions du niveau de référence » est inférieure à un, les limites du CS6-2015 sont respectées à cet endroit. Ce cas est très semblable à celui de la fréquence unique (4-12) de la section 4.2.5 où les deux côtés de (4-12) ont été divisés par S_{NR} et l'égalité a été remplacée par une inégalité.

Le concept de « fraction du niveau de référence » et l'utilisation de la formule (D-2) peuvent être étendus d'autres grandeurs de champ. Dans ce cas-ci, (D-2) peut être généralisée en :

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \leq 1 \quad (D - 3)$$

avec C_i , la fraction du niveau de référence applicable à n'importe quel type ou mélange de types de grandeurs d'exposition (champ électrique, champ magnétique, densité de puissance) à la position du i° échantillon spatial.

Pour une évaluation homogène (avec un seul type de grandeur de champ) de l'intensité du champ par rapport à des niveaux de référence fondés sur le DAS, la fraction du niveau de référence peut s'écrire :

$$C_i = \sum_{j=1}^M \left(\frac{E_{rms\ vraie,j}}{E_{NR-DAS}} \right)^2 \quad \text{ou} \quad C_i = \sum_{j=1}^M \left(\frac{H_{rms\ vraie,j}}{H_{NR-DAS}} \right)^2 \quad (D - 4)$$

Pour une évaluation homogène de l'intensité du champ par rapport à des niveaux de référence fondés sur la SN, la fraction du niveau de référence peut s'écrire :

$$C_i = \sum_{j=1}^M \left(\frac{E_{rms\ max,j}}{E_{NR-SN}} \right) \quad \text{or} \quad C_i = \sum_{j=1}^M \left(\frac{H_{rms\ vraie,j}}{H_{NR-SN}} \right) \quad (D - 5)$$

Pour l'évaluation hétérogène (mixte) de l'intensité du champ et/ou de la densité de puissance, les critères de comparaison (4-4) à (4-9) de la section 4.2.4 peuvent servir de guide pour calculer la fraction du niveau de référence pour chaque échantillon spatial. Une fois les fractions calculées, leur moyenne est déterminée et comparée à un, comme en (D-3).

Comme on l'a fait remarquer au premier cas de la section 4.2.4 (les niveaux de référence applicables sont fondés uniquement sur le DAS et la densité de puissance), si des mesures du champ électrique (E) et du champ magnétique (H) ont été prises pour un ensemble de sources, la « fraction du niveau de référence » qu'il faut utiliser dans E-3 est la plus grande qui a été calculée au moyen de (4-4) et (4-5). De même, dans le deuxième cas (les niveaux de référence applicables sont fondés uniquement sur la SN), la « fraction du niveau de référence » qu'il faut utiliser est la plus grande qui a été calculée au moyen de (4-7) et (4-8). Pour le

troisième cas (certains des niveaux de référence applicables sont fondés sur la SN, d'autres sur le DAS), la « fraction du niveau de référence » à utiliser est la plus grande qui a été calculée au moyen de (4-4), (4-5), (4-7) et (4-8), selon le cas.

Exemple D-1

Un site comportant trois sources à 27 MHz, 100 MHz et 2400 MHz est inspecté pour déterminer s'il est conforme aux limites pour un environnement contrôlé. À un point situé dans le champ lointain des trois sources, des mesures de calcul de la moyenne spatiale ont été prises afin d'obtenir une moyenne sur cinq points d'une ligne verticale allant d'une hauteur de 0,2 m au-dessus du sol jusqu'à une hauteur de 1,8 m au-dessus du sol. L'intensité rms vraie du champ électrique a été mesurée à 27 MHz et 100 MHz, tandis que la moyenne temporelle de la densité de puissance a été mesurée à 2400 MHz. Les données mesurées sont données dans le tableau D-1 avec les « fractions du niveau de référence » calculées à chaque position d'échantillonnage spatial ainsi que la moyenne spatiale de la fraction du niveau de référence qui en résulte.

Tableau D-1. Données mesurées pour l'exemple D-1

	27 MHz	100 MHz	2400 MHz	
Grandeur mesurée	Intensité du champ électrique (V/m)	Intensité du champ électrique (V/m)	Densité de puissance (W/m ²)	
Niveau de référence :	56,9	49,3	31,6	
Échantillon spatial	Valeurs mesurées			Fraction du niveau de référence
1	55	5	2	$(55/56,9)^2 + (5/49,3)^2 + (2/31,6) = 1,01$
2	36	10	9	$(36/56,9)^2 + (10/49,3)^2 + (9/31,6) = 0,73$
3	20	47	14	$(20/56,9)^2 + (47/49,3)^2 + (14/31,6) = 1,48$
4	11	10	21	$(11/56,9)^2 + (10/49,3)^2 + (21/31,6) = 0,74$
5	1	2	32	$(1/56,9)^2 + (2/49,3)^2 + (32/31,6) = 1,01$
Moyenne spatiale de la fraction du niveau de référence :				$(1,01 + 0,73 + 1,48 + 0,74 + 1,01)/5 = 0,99$

Le tableau D -1 permet de conclure que l'emplacement inspecté est conforme aux limites du CS6-2015.

Si les mêmes mesures avaient été prises au moyen d'un appareil de mesure muni d'une sonde de champ à réponse en fréquence adaptée qui affiche les valeurs en

« pourcentage du niveau de référence », les mesures aux cinq points d'échantillonnage auraient été : 101 %, 73 %, 148 %, 74 % et 101 %. La moyenne spatiale de ces cinq valeurs est leur moyenne arithmétique, soit 99 % du niveau de référence. (Remarque : comme la grandeur de la restriction de base des niveaux de référence fondés sur le DAS est une puissance, le pourcentage du niveau de référence pour l'intensité du champ est toujours donné par rapport au carré de la valeur mesurée).