

Union internationale des télécommunications

UIT-T

SECTEUR DE LA NORMALISATION
DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
DE L'UIT

K.52

(12/2004)

SÉRIE K: PROTECTION CONTRE LES
PERTURBATIONS

**Lignes directrices relatives aux valeurs limites
d'exposition des personnes aux champs
électromagnétiques**

Recommandation UIT-T K.52

Recommandation UIT-T K.52

Lignes directrices relatives aux valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques

Résumé

La présente Recommandation vise à faciliter la mise en conformité des installations de télécommunication et des combinés mobiles ou autres dispositifs émetteurs de rayonnements utilisés contre la tête aux valeurs limites à respecter pour assurer la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques. On y trouvera des indications générales ainsi qu'une méthode de calcul et une procédure d'évaluation des installations. Etablie d'après les normes de sécurité fixées par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPR-NI), ladite procédure aide les utilisateurs à juger de la conformité des installations d'après des critères d'accessibilité, les caractéristiques des antennes et la puissance des émetteurs. Il est recommandé de consulter la Norme CEI relative à la mesure de conformité des combinés mobiles.

Source

La Recommandation UIT-T K.52 a été approuvée le 14 décembre 2004 par la Commission d'études 5 (2005-2008) de l'UIT-T selon la procédure définie dans la Recommandation UIT-T A.8.

AVANT-PROPOS

L'UIT (Union internationale des télécommunications) est une institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine des télécommunications. L'UIT-T (Secteur de la normalisation des télécommunications) est un organe permanent de l'UIT. Il est chargé de l'étude des questions techniques, d'exploitation et de tarification, et émet à ce sujet des Recommandations en vue de la normalisation des télécommunications à l'échelle mondiale.

L'Assemblée mondiale de normalisation des télécommunications (AMNT), qui se réunit tous les quatre ans, détermine les thèmes d'étude à traiter par les Commissions d'études de l'UIT-T, lesquelles élaborent en retour des Recommandations sur ces thèmes.

L'approbation des Recommandations par les Membres de l'UIT-T s'effectue selon la procédure définie dans la Résolution 1 de l'AMNT.

Dans certains secteurs des technologies de l'information qui correspondent à la sphère de compétence de l'UIT-T, les normes nécessaires se préparent en collaboration avec l'ISO et la CEI.

NOTE

Dans la présente Recommandation, l'expression "Administration" est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation reconnue.

Le respect de cette Recommandation se fait à titre volontaire. Cependant, il se peut que la Recommandation contienne certaines dispositions obligatoires (pour assurer, par exemple, l'interopérabilité et l'applicabilité) et considère que la Recommandation est respectée lorsque toutes ces dispositions sont observées. Le futur d'obligation et les autres moyens d'expression de l'obligation comme le verbe "devoir" ainsi que leurs formes négatives servent à énoncer des prescriptions. L'utilisation de ces formes ne signifie pas qu'il est obligatoire de respecter la Recommandation.

DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

L'UIT attire l'attention sur la possibilité que l'application ou la mise en œuvre de la présente Recommandation puisse donner lieu à l'utilisation d'un droit de propriété intellectuelle. L'UIT ne prend pas position en ce qui concerne l'existence, la validité ou l'applicabilité des droits de propriété intellectuelle, qu'ils soient revendiqués par un Membre de l'UIT ou par une tierce partie étrangère à la procédure d'élaboration des Recommandations.

A la date d'approbation de la présente Recommandation, l'UIT n'avait pas été avisée de l'existence d'une propriété intellectuelle protégée par des brevets à acquérir pour mettre en œuvre la présente Recommandation. Toutefois, comme il ne s'agit peut-être pas de renseignements les plus récents, il est vivement recommandé aux responsables de la mise en œuvre de consulter la base de données des brevets du TSB.

© UIT 2005

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1	Domaine d'application	1
2	Références normatives.....	1
3	Termes et définitions	2
4	Abréviations et acronymes	5
5	Principes généraux.....	6
	5.1 Sources multiples et fréquences	6
	5.2 Durée de l'exposition	6
6	Limites de sécurité pour les champs EMF.....	7
7	Conformité des combinés mobiles.....	7
8	Mise en conformité des installations aux limites de sécurité relatives aux champs EMF pour les installations de télécommunication	7
	8.1 Détermination de la nécessité d'une évaluation pour les équipements de télécommunication	8
	8.2 Procédures d'évaluation des risques d'exposition à des champs EMF	8
	8.3 Procédure d'évaluation du niveau d'exposition	9
9	Techniques d'évaluation des champs EMF.....	11
	9.1 Méthodes de calcul	11
	9.2 Procédures de mesure	13
10	Techniques de limitation de l'exposition	14
	10.1 Zone d'exposition au travail	14
	10.2 Zone de dépassement.....	14
	Annexe A – Organigramme d'application.....	14
	Annexe B – Critères de base pour la détermination de la classe des installations.....	16
	B.1 Sources intrinsèquement conformes.....	16
	B.2 Installations normalement conformes.....	16
	Appendice I – Limites fixées par la CIPR-NI.....	22
	I.1 Limites de base	22
	I.2 Niveaux de référence.....	23
	I.3 Exposition simultanée à des sources multiples	26
	Appendice II – Exemple d'évaluation simple de l'exposition à des champs électromagnétiques	27
	II.1 Exposition au niveau du sol.....	27
	II.2 Exposition au niveau d'un bâtiment adjacent	28
	Appendice III – Exemple de calcul de valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$)	30
	III.1 Valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$).....	30

	Page
Appendice IV – Explication des valeurs de seuil de $EIRP_{th}$ des tableaux de l'Appendice III	37
IV.1 Sources intrinsèquement conformes.....	37
IV.2 Normalement conformes	37
BIBLIOGRAPHIE.....	40

Introduction

La présente Recommandation vise à faciliter la mise en conformité des installations de télécommunication et des combinés mobiles ou autres dispositifs émetteurs de rayonnements utilisés contre la tête aux valeurs limites à respecter pour assurer la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques (EMF, *electromagnetic field*). La présente Recommandation ne fixe pas de valeurs limites propres à assurer la sécurité, mais vise à définir des techniques et des procédures destinées à déterminer la conformité des installations de télécommunication et des combinés aux valeurs limites de champ électromagnétique nationales ou internationales garantissant la sécurité.

Recommandation UIT-T K.52

Lignes directrices relatives aux valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques

1 Domaine d'application

La présente Recommandation vise à faciliter la mise en conformité des installations de télécommunication aux valeurs limites de champ électromagnétique garantissant la sécurité des personnes exposées aux champs électromagnétiques (EMF, *electromagnetic field*) produits par des équipements de télécommunication à des fréquences de 9 kHz à 300 GHz¹. La présente Recommandation définit les techniques et les procédures permettant d'évaluer l'ampleur de l'exposition des employés et du public aux champs électromagnétiques et de limiter cette exposition en cas de dépassement des valeurs limites.

La présente Recommandation s'applique également à l'exposition aux champs EMF produits par les combinés mobiles ou autres dispositifs émetteurs de rayonnements fonctionnant dans la gamme de fréquences comprise entre 300 MHz et 3 GHz et utilisés contre la tête.

Dans les pays dont la législation, les normes ou les directives applicables aux valeurs limites à ne pas dépasser en cas d'exposition de personnes à des champs électromagnétiques définissent des procédures différentes des dispositions de la présente Recommandation, lesdites législations, normes ou directives prévaleront sur les procédures définies dans la présente Recommandation.

La présente Recommandation traite de l'exposition à des champs électromagnétiques tant des personnes se trouvant sur des sites de télécommunication que des personnes se trouvant à l'extérieur de ces sites, que ces champs électromagnétiques soient produits par des équipements de télécommunication ou par les équipements installés sur lesdits sites.

La présente Recommandation ne traite pas de l'exposition à des courants de contact dus à des objets conducteurs irradiés par des champs électromagnétiques.

La présente Recommandation ne traite pas de l'exposition due à l'utilisation de combinés mobiles ou d'autres dispositifs émetteurs de rayonnements utilisés à proximité immédiate d'une partie du corps humain autre que la tête.

La Rec. UIT-T K.33, *Limites assurant la sécurité des personnes en cas de couplage induit dans un système de télécommunication par un défaut dans une installation de transport d'énergie électrique ou dans une installation ferroviaire électrifiée (en courant alternatif)*, traite des aspects touchant à la sécurité des personnes entrant en contact avec des circuits de télécommunication exposés à des couplages par induction produits par une ligne de transport d'énergie électrique en courant alternatif ou dans une voie ferrée électrifiée en courant alternatif.

2 Références normatives

La présente Recommandation se réfère à certaines dispositions des Recommandations UIT-T et textes suivants, qui de ce fait, en sont partie intégrante. Les versions indiquées étaient en vigueur au moment de la publication de la présente Recommandation. Toute Recommandation ou tout texte étant sujet à révision, les utilisateurs de la présente Recommandation sont invités à se reporter, si possible, aux versions les plus récentes des références normatives suivantes. La liste des Recommandations de l'UIT-T en vigueur est régulièrement publiée. La référence à un document figurant dans la présente Recommandation ne donne pas à ce document, en tant que tel, le statut d'une Recommandation.

¹ L'Appendice I indique également les limites fixées par la CIPR-NI pour des fréquences inférieures.

- Recommandation UIT-T K.61 (2003), *Directives pour la mesure et la prédiction numérique des champs électromagnétiques pour l'observation des limites d'exposition humaines aux rayonnements des installations de télécommunication.*
- CEI 60657 (1979), *Dangers des rayonnements non ionisants dans la gamme de fréquences de 10 MHz à 300 000 MHz.*
- CEI 60833 (1987), *Mesure des champs électriques à fréquence industrielle.*
- CEI 61566 (1997), *Mesure de l'exposition aux champs électromagnétiques à radiofréquence – Intensité du champ dans la gamme de fréquences entre 100 kHz et 1 GHz.*
- CEI 62209 (2004), *Exposition humaine aux champs radio fréquence produits par les appareils 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 (SAR) produit par les dispositifs tenus à la main et utilisés près de l'oreille (plage de fréquence de 300 MHz à 3 GHz).*

3 Termes et définitions

La présente Recommandation définit les termes suivants:

3.1 gain d'antenne: le gain d'antenne $G(\theta, \phi)$ est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide à la puissance d'entrée totale, multiplié par 4π . Le gain est souvent exprimé en décibels par rapport à une antenne isotrope (dBi). Il est défini par l'équation suivante:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{\Omega} \frac{dP_r}{d\Omega} \frac{1}{P_{in}}$$

dans laquelle:

θ, ϕ sont les angles dans un système de coordonnées polaires

P_r est la puissance rayonnée dans la direction (θ, ϕ)

P_{in} est la puissance d'entrée totale

Ω est l'angle solide élémentaire dans la direction d'observation

3.2 puissance (temporelle) moyenne (P_{avg}): débit du transfert d'énergie (moyenne temporelle) défini par l'équation suivante:

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

dans laquelle t_1 et t_2 sont les heures de début et de fin de l'exposition. La période t_1 et t_2 est le temps que dure l'exposition.

3.3 temps d'intégration (T_{avg}): intervalle de temps pendant lequel on calcule l'exposition moyenne afin de déterminer la conformité aux valeurs limites.

3.4 exposition continue: exposition d'une durée dépassant le temps d'intégration correspondant. Une exposition d'une durée inférieure au temps d'intégration est appelée exposition de courte durée.

3.5 courant de contact: courant passant dans le corps d'une personne touchant un objet conducteur se trouvant dans un champ électromagnétique.

3.6 exposition professionnelle/contrôlée: on entend par là les risques d'exposition encourus, en pleine connaissance de cause, par les personnes exerçant certaines professions et contre lesquels elles peuvent se protéger. Cette définition s'applique aussi aux cas dans lesquels une personne est transitoirement exposée à des champs électromagnétiques en passant par mégarde dans une zone où

l'intensité de ceux-ci peut dépasser les limites admises pour le public en l'absence de protection, pour autant que cette personne ait été pleinement informée des risques encourus et qu'elle puisse faire quelque chose pour se protéger en quittant les lieux ou par d'autres moyens appropriés.

3.7 directivité: rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide à la puissance rayonnée moyenne par unité d'angle solide.

3.8 puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP, *equivalent isotropically radiated power*): produit de la puissance d'alimentation de l'antenne et du gain d'antenne maximal par rapport à une antenne isotrope.

3.9 exposition: ce terme s'applique à toute situation dans laquelle une personne est exposée à des champs électriques, magnétiques ou électromagnétiques ou à des courants de contact autres que ceux qui sont engendrés par des processus physiologiques du corps humain ou par d'autres phénomènes naturels.

3.10 niveau d'exposition: valeur de la grandeur de mesure utilisée en cas d'exposition d'une personne à des champs électromagnétiques ou à des courants de contact.

3.11 exposition non uniforme/d'une partie du corps: on entend par-là les niveaux d'exposition produits lorsque les champs ne sont pas uniformément répartis sur des volumes comparables à la totalité du corps humain. Ces niveaux peuvent être dus à des antennes d'émission très directives, à des ondes stationnaires, à des rayonnements par diffusion ou dans le champ proche.

3.12 région de champ lointain: région du champ d'une antenne dans laquelle la distribution angulaire du champ est essentiellement indépendante de la distance par rapport à l'antenne. Région dans laquelle le champ présente essentiellement la forme d'une onde plane, c'est-à-dire que les champs électriques et magnétiques sont uniformément répartis localement selon des plans perpendiculaires au sens de propagation.

3.13 public: tout individu à l'exception des employés (au sens donné à ce terme au § 3.27).

3.14 courant induit: courant passant dans le corps humain par suite d'une exposition directe d'une personne à des champs électriques, magnétiques ou électromagnétiques.

3.15 émetteur intentionnel: dispositif conçu pour générer et émettre de l'énergie électromagnétique par rayonnement ou induction.

3.16 région de champ proche: région située à proximité d'une antenne ou d'une autre structure rayonnante, dans laquelle les champs électriques et magnétiques ne présentent pas essentiellement la forme d'une onde plane mais varient considérablement d'un point à l'autre. On distingue en outre deux régions de champ proche: la région de champ proche réactif, la plus rapprochée de la structure rayonnante et contenant l'essentiel ou la quasi-totalité de l'énergie stockée, et la région de champ proche rayonnant, dont le champ de rayonnement prédomine sur le champ réactif, mais ne présente pas essentiellement la forme d'une onde plane et est d'une structure complexe.

NOTE – La limite extérieure du champ proche réactif de beaucoup d'antennes est considérée comme étant située à une distance d'une demi-longueur d'onde de la surface de l'antenne.

3.17 densité de puissance (S): puissance par zone unitaire perpendiculaire à la direction de propagation des ondes électromagnétiques, généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m^2).

NOTE – Dans le cas d'ondes planes, la puissance surfacique, l'intensité du champ électrique (E) et l'intensité du champ magnétique (H) sont liées entre eux par l'impédance intrinsèque de l'espace libre, $\eta_0 = 377 \Omega$. En particulier,

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH$$

où E et H sont exprimés en volts par mètre (V/m) et en ampères par mètre (A/m), respectivement, et S en watts par mètre carré (W/m^2). Bien que beaucoup d'appareils de mesure indiquent des unités de puissance surfacique, les grandeurs effectives mesurées sont l'intensité du champ électrique (E) ou l'intensité du champ magnétique (H).

3.18 densité de puissance moyenne (temporelle): la densité de puissance moyenne est égale à la densité de puissance instantanée, intégrée sur une période de répétition de la source.

NOTE – Il ne faut pas confondre la mesure de cette valeur moyenne avec la mesure du temps d'intégration.

3.19 densité de puissance de crête: densité de puissance instantanée maximale produite au moment où la puissance est transmise.

3.20 densité de puissance équivalente en ondes planes (S_{eq}): terme d'usage courant désignant toute onde électromagnétique d'amplitude égale à la densité de puissance d'une onde plane de même intensité de champ électrique (E) ou magnétique (H).

3.21 diagramme de champ relatif: dans la présente Recommandation, le diagramme de champ relatif $f(\theta, \phi)$ est défini comme étant le rapport de la valeur absolue de l'intensité de champ (arbitrairement retenu ici comme étant le champ électrique), à la valeur absolue de l'intensité de champ maximale. Ce rapport est lié au gain numérique relatif (défini ci-dessous au § 3.22) par l'équation suivante:

$$f(\theta, \phi) = \sqrt{F(\theta, \phi)}$$

3.22 gain numérique relatif: le gain numérique relatif $F(\theta, \phi)$ est le rapport du gain d'antenne à chaque angle au gain d'antenne maximal. Sa valeur varie de 0 à 1. Il est également désigné par le terme diagramme d'antenne.

3.23 exposition de courte durée: exposition d'une durée inférieure à celle du temps d'intégration correspondant.

3.24 absorption spécifique (SA , *specific absorption*): quotient de l'énergie incrémentielle (dW) absorbée par (dissipée dans) une masse incrémentielle (dm) contenue dans un élément de volume (dV) d'une densité donnée (ρ_m).

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV}$$

L'absorption spécifique est exprimée en joules par kilogramme (J/kg).

3.25 taux d'absorption spécifique (SAR , *specific absorption rate*): dérivée temporelle de l'énergie incrémentielle (dW) absorbée par (dissipée dans) une masse incrémentielle (dm) contenue dans un élément de volume (dV) d'une densité de masse donnée (ρ_m).

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV}$$

Le taux SAR est exprimé en watts par kilogramme (W/kg).

On peut le calculer selon les formules suivantes:

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

$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$

$$SAR = \frac{j^2}{\rho_m \sigma}$$

dans lesquelles:

E est la valeur de l'intensité du champ électrique dans les tissus corporels, exprimée en V/m

σ est la conductivité des tissus corporels, exprimée en S/m

ρ_m est la densité des tissus corporels, exprimée en kg/m³

c est la capacité thermique des tissus corporels, exprimée en J/kg° C

$\frac{dT}{dt}$ est la dérivée temporelle de la température dans les tissus corporels, exprimée en °C/s

J est la valeur de la densité du courant induit dans les tissus corporels, exprimée en A/m²

3.26 exposition publique/non contrôlée: cette définition s'applique à des situations dans lesquelles le public peut être exposé à des champs électromagnétiques, ou dans lesquelles les personnes exposées à de tels champs sur leur lieu de travail ne sont pas nécessairement pleinement informées des risques qu'elles encourent ou ne peuvent rien faire pour se protéger.

3.27 employés: ce terme désigne les employés et les travailleurs indépendants, dans l'exercice de leur profession.

3.28 émetteur non intentionnel: appareil émettant de l'énergie électromagnétique normalement destinée à un usage interne à celui-ci, ou émettant de l'énergie électromagnétique par conduction vers d'autres équipements, mais qui n'est pas destiné à émettre de l'énergie électromagnétique par rayonnement ou par induction.

3.29 Longueur d'onde (λ): la longueur d'onde d'une onde électromagnétique est le rapport de sa vitesse (v) à sa fréquence (f); elle est exprimée par la formule suivante:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

En espace libre, la vitesse d'une onde électromagnétique est égale à celle de la lumière (c) soit approximativement de 3×10^8 m/s.

4 Abréviations et acronymes

La présente Recommandation utilise les abréviations suivantes:

CIPR-NI	Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants
EIRP	puissance isotrope rayonnée équivalente (<i>equivalent isotropically radiated power</i>)
EMC	compatibilité électromagnétique (<i>electromagnetic compatibility</i>)
EMF	champ électromagnétique (<i>electromagnetic field</i>)
SA	absorption spécifique (<i>specific absorption</i>)
SAR	taux d'absorption spécifique (<i>specific absorption rate</i>)

5 Principes généraux

De nombreux documents nationaux et internationaux indiquent les valeurs limites à ne pas dépasser pour assurer la sécurité des personnes exposées à des champs électromagnétiques (EMF). Bien qu'ils diffèrent dans les détails, la plupart de ces documents énoncent un certain nombre de principes de base communs, parmi lesquels: utilisation de limites de base et de niveaux de

référence; utilisation de limites d'exposition à deux niveaux; temps d'intégration et prise en compte séparée de l'exposition aux champs basse fréquence et aux champs haute fréquence.

Dans la plupart des documents, les limites assurant la sécurité sont indiquées en termes de limites de base et de niveaux de référence (ou dérivés). Les limites de base se rapportent aux grandeurs fondamentales qui déterminent la réaction physiologique du corps humain aux champs électromagnétiques. Elles s'appliquent à une situation dans laquelle le corps humain se trouve dans le champ. Les limites de base applicables à l'exposition des personnes sont exprimées par le taux d'absorption spécifique (SAR, *specific absorption rate*), l'absorption spécifique (SA, *specific absorption*) et la densité du courant.

Etant donné que les valeurs de base sont difficiles à mesurer directement, la plupart des documents indiquent pour le champ électrique, le champ magnétique et la densité de puissance des niveaux dérivés (de référence). Les niveaux de référence peuvent être dépassés s'il peut être démontré que le type d'exposition produit un taux d'absorption spécifique, une absorption spécifique et une densité de courant induit inférieurs aux limites de base. Les niveaux de référence s'appliquent à une situation dans laquelle le champ électromagnétique n'est pas sensible à la présence d'un corps humain.

A noter, dans la plupart des documents, l'adoption pour les valeurs limites d'une structure à deux niveaux, les valeurs spécifiées pour l'exposition publique/non contrôlée étant inférieures aux valeurs spécifiées pour l'exposition professionnelle/contrôlée.

Il importe de souligner que les limites en matière d'exposition ne concernent pas l'émission; elles s'appliquent à des lieux accessibles aux employés ou au public. Par conséquent, il est possible d'assurer la conformité en limitant l'accès aux zones dans lesquelles les limites de champ sont dépassées.

5.1 Sources multiples et fréquences

La plupart des documents font état de la nécessité d'examiner les effets de sources multiples. En raison des effets physiologiques différents des sources basse fréquence et des sources haute fréquence, il convient de les examiner séparément. Aux fréquences généralement inférieures à 10 MHz, les effets physiologiques importants sont dus à la densité du courant induit; aux fréquences généralement supérieures à 100 kHz, les effets physiologiques importants sont dus au taux *SAR*.

Afin d'examiner les effets de sources multiples, la plupart des documents font état de la nécessité d'attribuer à celles-ci une valeur globale pondérée, incluant la valeur de chaque source au prorata de la limite applicable à sa fréquence. L'Appendice I indique la procédure spécifiée dans les directives de la CIPR-NI.

5.2 Durée de l'exposition

La plupart des documents définissent les limites en matière d'exposition en termes de valeurs moyennes établies sur une période appelée temps d'intégration. Dans le cas d'une exposition de courte durée, c'est-à-dire d'une durée inférieure au temps d'intégration, la limite applicable est la suivante:

$$\sum_i X_i^2 t_i \leq X_l^2 t_{avg}$$

dans laquelle:

X_i est le champ (E ou H) pendant l'exposition i

t_i est la durée de l'exposition i

X_l est la limite de référence

t_{avg} est le temps d'intégration approprié

La limite de densité de puissance est calculée par l'expression:

$$\sum_i S_i t_i \leq S_l t_{avg}$$

dans laquelle:

S_i est la densité de puissance pendant l'exposition i

t_i est la durée de l'exposition i

S_l est la limite de référence

t_{avg} est le temps d'intégration approprié

6 Limites de sécurité pour les champs EMF

Dans beaucoup de cas, les limites des champs EMF à ne pas dépasser pour assurer la sécurité des personnes sont fixées par les instances de réglementation nationales ou les organismes de normalisation. En l'absence de telles limites ou si les limites fixées ne s'appliquent pas aux fréquences voulues, il y a lieu d'appliquer les limites fixées par la CIPR-NI (Appendice I).

7 Conformité des combinés mobiles

En ce qui concerne les combinés mobiles ou les autres dispositifs émetteurs de rayonnements fonctionnant dans la gamme de fréquences 300 MHz-3 GHz et utilisés contre la tête, la conformité aux limites de sécurité fixées par la CIPR-NI peut être assurée en appliquant les méthodes de mesure du taux SAR énoncées dans la Norme CEI 62209 (2004). En outre, dans certains cas, les instances de réglementation locales ou nationales ou les organismes de normalisation peuvent recommander des méthodes de mesure nationales ou régionales inspirées de la Norme CEI 62209 afin d'obtenir une valeur du taux SAR applicable aux combinés mobiles utilisés contre la tête.

8 Mise en conformité des installations aux limites de sécurité relatives aux champs EMF pour les installations de télécommunication

Pour assurer la mise en conformité des installations, il convient de procéder comme suit:

- 1) identifier les limites à respecter pour assurer la mise en conformité;
- 2) déterminer s'il y a eu lieu de procéder à une évaluation des risques d'exposition de personnes à des champs EMF, pour les installations ou les équipements en question (voir § 8.1);
- 3) dans l'affirmative, cette évaluation pourra être effectuée par des calculs ou des mesures. La présente Recommandation décrit une méthode d'évaluation des risques d'exposition des personnes à des champs EMF, destinée à aider l'utilisateur, d'une part, à repérer un éventuel dépassement des limites fixées en la matière, d'autre part, à choisir une méthode appropriée pour procéder à l'évaluation;
- 4) s'il ressort de l'évaluation que les limites en question risquent d'être dépassées dans des zones où des personnes peuvent se trouver, il convient de prendre des mesures pour réduire ou éviter les champs EMF.

8.1 Détermination de la nécessité d'une évaluation pour les équipements de télécommunication

Il convient de classer les équipements de télécommunication rayonnant des champs EMF en deux groupes: les émetteurs intentionnels et les émetteurs non intentionnels, tels qu'ils sont définis dans la présente Recommandation. En règle générale, un émetteur intentionnel est associé à une antenne rayonnant de l'énergie radioélectrique.

8.1.1 Émetteurs non intentionnels

Les émetteurs non intentionnels peuvent produire des champs EMF dus à des rayonnements non essentiels. Il existe des normes de rayonnement pour la compatibilité électromagnétique qui limitent l'amplitude de ces champs non essentiels. En règle générale, les champs produits par un équipement de télécommunication constituant un émetteur non intentionnel sont sensiblement inférieurs aux limites de sécurité fixées par la CIPR-NI et dans les normes nationales. Les limites fixées pour la conformité aux normes de compatibilité électromagnétique sont inférieures de plusieurs puissances de 10 aux limites de sécurité fixées pour les champs EMF. Même si l'équipement dépasse les limites de rayonnement à certaines fréquences, l'expérience montre que les champs produits sont encore inférieurs de plusieurs puissances de 10 aux limites de sécurité. Il n'est donc pas nécessaire de soumettre un équipement de télécommunication constituant un émetteur non intentionnel à une évaluation de sécurité EMF pour en assumer la conformité aux limites de sécurité.

8.1.2 Émetteurs intentionnels

Les émetteurs intentionnels utilisent des champs électromagnétiques pour la transmission de signaux. Ils produisent des champs EMF qui peuvent dépasser les limites de sécurité dans certaines régions selon la puissance de fonctionnement, le gain, la fréquence, l'orientation et la directivité de l'antenne d'émission. Il est possible de tenir compte de ces paramètres et de l'environnement dans lequel fonctionne l'installation pour déterminer la nécessité d'une évaluation des risques d'exposition ainsi que la procédure à suivre pour procéder à une telle évaluation. La présente Recommandation décrit une méthode d'évaluation des risques fondée sur une classification des zones d'exposition.

8.2 Procédures d'évaluation des risques d'exposition à des champs EMF

S'il est établi que la présence d'émetteurs intentionnels rend nécessaire une évaluation des risques d'exposition à des champs EMF, il convient de procéder à cette évaluation pour tous les emplacements où des personnes sont susceptibles d'être exposées à des champs EMF. Cette évaluation a pour but de classer les risques d'exposition à des champs EMF en fonction de leur appartenance à l'une des trois zones suivantes:

- 1) **zone de conformité aux normes:** dans cette zone, les risques d'exposition à des champs EMF sont inférieurs aux limites applicables tant à l'exposition professionnelle/contrôlée qu'à l'exposition publique/non contrôlée;
- 2) **zone d'exposition au travail:** dans cette zone, les risques d'exposition à des champs EMF sont inférieurs aux limites applicables à l'exposition professionnelle/contrôlée mais supérieurs aux limites applicables à l'exposition publique/non contrôlée;
- 3) **zone de dépassement:** dans cette zone, les risques d'exposition à des champs EMF dépassent les limites applicables tant à l'exposition professionnelle/contrôlée qu'à l'exposition publique/non contrôlée.

Pour beaucoup d'installations, la zone de dépassement et la zone d'exposition au travail ne sont pas accessibles aux personnes, ou ne sont accessibles que dans des circonstances inhabituelles (cas d'une personne se tenant debout directement devant l'antenne, par exemple). La procédure d'évaluation des risques décrite dans la présente Recommandation concerne principalement l'exposition du public et des employés dans l'exercice de leurs activités normales. Voir Figure 1.

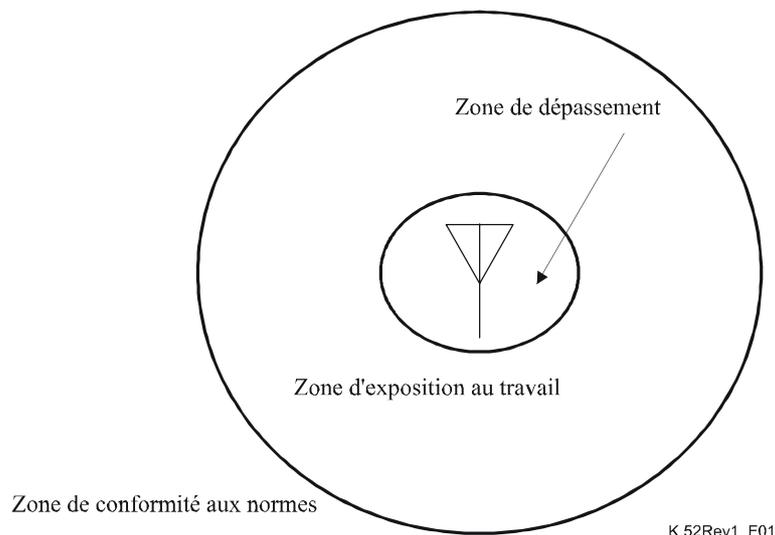


Figure 1/K.52 – Illustration des zones d'exposition

8.3 Procédure d'évaluation du niveau d'exposition

Dans l'évaluation du niveau d'exposition, il faut prendre en considération:

- les conditions d'émission les plus défavorables;
- la présence simultanée de plusieurs sources de champs EMF, même à différentes fréquences.

Il convient de prendre en considération les paramètres suivants:

- la EIRP maximale du système d'antenne (voir définition: puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP));
NOTE – Il convient de calculer la EIRP maximale pour la puissance moyenne de l'émetteur. Pour la majorité des sources, la puissance moyenne de l'émetteur est égale à sa puissance nominale. Il existe toutefois des exceptions. Par exemple, la puissance moyenne de l'émetteur est inférieure à sa puissance nominale pour la télévision analogique et supérieure pour la double bande latérale à modulation d'amplitude;
- le gain d'antenne G (voir définition: gain d'antenne) ou le gain numérique relatif F (voir définition: gain numérique relatif), y compris les valeurs maximales de gain et d'ouverture du faisceau;
- la fréquence de fonctionnement;
- les diverses caractéristiques de l'installation – emplacement et hauteur de l'antenne, direction et inclinaison du faisceau, par exemple – et l'évaluation de la probabilité qu'une personne soit exposée à des champs EMF.

Afin de faciliter la gestion de la procédure d'évaluation et de ces paramètres, le système de classification suivant est adopté.

8.3.1 Système de classification des installations

Il convient de classer chaque installation d'émission dans l'une des trois classes suivantes:

- 1) **intrinsèquement conforme:** les sources intrinsèquement conformes produisent des champs conformes aux limites d'exposition pertinentes à quelques centimètres de la source. Il n'est pas nécessaire de prendre des précautions particulières;
- 2) **normalement conforme:** les installations normalement conformes contiennent des sources qui produisent des champs EMF pouvant dépasser les limites d'exposition pertinentes. Toutefois, en raison des pratiques normalement applicables à ces installations et du fait que

ces sources sont généralement utilisées à des fins de communication, la zone de dépassement de ces sources n'est pas accessible aux personnes dans les conditions normales d'utilisation de ces installations, qu'il s'agisse par exemple d'antennes installées sur des pylônes d'une hauteur suffisante ou de stations terriennes à faisceau étroit pointé en direction du satellite. Le personnel de maintenance travaillant à proximité immédiate des émetteurs de certaines installations normalement conformes pourra être tenu de prendre des précautions;

- 3) **provisoirement conforme:** pour assurer la mise en conformité des installations provisoirement conformes, il est nécessaire de prendre des mesures spéciales, visant notamment à déterminer les zones d'exposition ou telles que les mesures présentées dans le § 9.

8.3.2 Procédure pour déterminer la classe d'installation

Il convient de classer chaque installation dans une des classes d'installation définies au § 8.3.1. Il est à prévoir que les exploitants assurant un service de télécommunication donné emploieront un ensemble limité d'antennes et d'équipements associés aux caractéristiques bien définies. En outre, les installations ainsi que les conditions d'exposition en de nombreux sites d'émission seront probablement semblables. Il est donc possible de définir un ensemble de configurations de référence, de conditions d'exposition de référence et de paramètres fondamentaux correspondants qui rendront possibles une classification commode des sites.

On pourra utilement procéder comme suit:

- 1) définir un ensemble de paramètres ou de types d'antenne de référence. Ces catégories peuvent être adaptées aux types d'émetteurs utilisés pour l'application en question;
- 2) définir un ensemble de conditions d'accessibilité. Ces catégories dépendent de l'accessibilité des diverses zones situées à proximité de l'émetteur aux personnes. Ces catégories peuvent être adaptées aux installations les plus fréquemment rencontrées dans l'environnement pour le service ou l'application en question;
- 3) pour chacun des paramètres de l'antenne de référence allant de pair avec une condition d'accessibilité, déterminer la valeur de seuil de la EIRP. Cette valeur de seuil de la EIRP, désignée par l'abréviation $EIRP_{th}$, est la valeur qui correspond à la limite d'exposition pour la densité de puissance ou le champ rayonné par l'antenne de référence pour la condition d'accessibilité. Cette valeur de seuil peut être déterminée par les calculs ou les mesures décrits au § 8.3.2.1 et dans le § 9. A condition que les catégories soient suffisamment larges, cette valeur de seuil ne doit être déterminée qu'une seule fois pour la plupart des installations;
- 4) une installation entre dans la classe des installations intrinsèquement conformes si sa source d'émission est intrinsèquement conforme (selon la définition donnée ci-dessus). Il n'est pas nécessaire de prendre en considération d'autres éléments de l'installation.

NOTE – L'Appendice IV indique qu'une source intrinsèquement conforme pour les limites fixées par la CIPR-NI a une EIRP inférieure à 2 W;

- 5) pour chaque site, une installation entre dans la classe des installations normalement conformes, si elle satisfait au critère suivant:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

dans laquelle $EIRP_i$ est la puissance rayonnée temporelle moyenne de l'antenne pour une fréquence donnée i , et $EIRP_{th,i}$ est la valeur de seuil de la EIRP applicable aux paramètres de l'antenne et aux conditions d'accessibilité considérés. Pour une installation comportant plusieurs antennes, il y a lieu d'établir une distinction entre les deux conditions suivantes:

- si les diagrammes de rayonnement de la source se chevauchent, comme il ressort d'un examen de l'ouverture à mi-puissance du faisceau, les valeurs moyennes temporelles maximales respectives de EIRP devraient satisfaire au critère suivant;
 - si elles ne se chevauchent pas, les sources multiples doivent être considérées séparément;
- 6) les sites qui ne satisfont pas aux conditions voulues pour être classés comme étant normalement conformes sont considérées comme étant provisoirement conformes.

Pour les sites auxquels ces catégories ne s'appliquent pas clairement, il faudra procéder à de nouveaux calculs ou à de nouvelles mesures.

L'Annexe B présente un ensemble de configurations, de conditions d'exposition, de paramètres et de valeurs de seuil de la *EIRP* ($EIRP_{th}$) appropriées de base, ensemble qu'il conviendra d'utiliser par défaut à moins que l'exploitant n'en définisse un autre expressément adapté à la mise en œuvre d'un service donné et qui permette de procéder à l'analyse voulue de l'exposition.

8.3.2.1 Détermination de la valeur de seuil de la *EIRP* ($EIRP_{th}$)

La procédure est la suivante:

- 1) déterminer le champ ou la densité de puissance pour chaque point O pouvant être exposé à des champs EMF, pour l'antenne considérée;
- 2) trouver la densité de puissance maximale S_{max} à l'intérieur de la zone d'exposition à partir de cet ensemble;
- 3) la condition $S_{max} = S_{lim}$ donne la valeur de seuil de la *EIRP* ($EIRP_{th}$), où S_{lim} est la limite appropriée donnée par la norme d'exposition aux champs EMF à la fréquence voulue.

Cette procédure peut être menée à bien par les calculs indiqués au 9.1, par d'autres méthodes de calcul plus précises ou par des mesures. Si l'on recourt à des mesures, il est nécessaire de les effectuer en un certain nombre d'emplacements représentatifs pour chaque configuration d'accessibilité et pour chaque type d'antenne.

9 Techniques d'évaluation des champs EMF

Le présent paragraphe décrit les méthodes à utiliser pour évaluer les champs EMF pour les installations de télécommunication. On trouvera des informations supplémentaires sur les systèmes de radiodiffusion de Terre dans la Rec. UIT-R BS.6/BL/25.

9.1 Méthodes de calcul

Outre les méthodes analytiques de base décrites dans le présent paragraphe, la Rec. UIT-T K.61 énonce les directives concernant la sélection de méthodes numériques applicables à la prédiction de l'exposition aux champs EMF dans diverses situations.

9.1.1 Région de champ proche réactif

Dans la région de champ proche réactif, les champs électriques et magnétiques doivent être considérés séparément. En l'absence d'objets engendrant une distorsion de champ, il est possible de calculer les champs selon des formules quasi statiques si l'on connaît une forme de distribution du courant.

9.1.2 Région de champ lointain

Les données qui suivent indiquent les méthodes à utiliser pour procéder à une estimation prudente des niveaux d'intensité de champ et de densité de puissance.

Pour une antenne rayonnante simple, la densité de puissance approchée rayonnée dans la direction décrite par l'angle θ (qui complète l'angle de site) et l'angle ϕ (angle d'azimut) peut être évaluée par l'expression suivante:

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

dans laquelle:

$S(R, \theta, \phi)$ est la densité de puissance en W/m^2

$f(\theta, \phi)$ est le diagramme de champ relatif de l'antenne (chiffre positif entre 0 et 1)

$EIRP$ est la $EIRP$ de l'antenne, en W

ρ est la valeur absolue (du module) du coefficient de réflexion, compte tenu de l'onde réfléchie par le sol. Dans certains cas, l'exposition à l'onde réfléchie peut être bloquée. Il convient alors de mettre ρ à 0

R est la distance entre le point central de la source rayonnante et la personne censée être exposée

R' est la distance entre le point central de l'image de la source rayonnante et la personne censée être exposée

A proximité du niveau du sol, les variables principales ont approximativement les mêmes valeurs que les variables non principales, ce qui permet de calculer la puissance selon la formule suivante:

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

dans laquelle:

$F(\theta, \phi)$ est le gain numérique relatif de l'antenne par rapport à une antenne isotrope (chiffre positif entre 0 et 1)

Le coefficient de réflexion ρ de la terre pour une conductivité σ , une constante diélectrique $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ (ϵ_0 = constante diélectrique du vide, κ = constante diélectrique relative) et un angle d'incidence rasant Ψ est obtenu par les formules suivantes:

$$\rho = \frac{(\kappa - j\chi) \sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{(\kappa - j\chi) \sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \quad \text{polarisation verticale}$$

$$\rho = \frac{\sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{\sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \quad \text{polarisation horizontale}$$

dans lesquelles:

$$\chi = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$$

En général, l'onde réfléchie contient des composantes de polarisation verticale et horizontale qui varient avec l'angle d'incidence. Toutefois, pour beaucoup d'applications, il suffit de ne prendre en considération que la polarisation prédominante de l'onde incidente dans le calcul du coefficient de réflexion.

Les distances et les angles sont définis sur la Figure 2. On suppose que l'exposition est évaluée au point O.

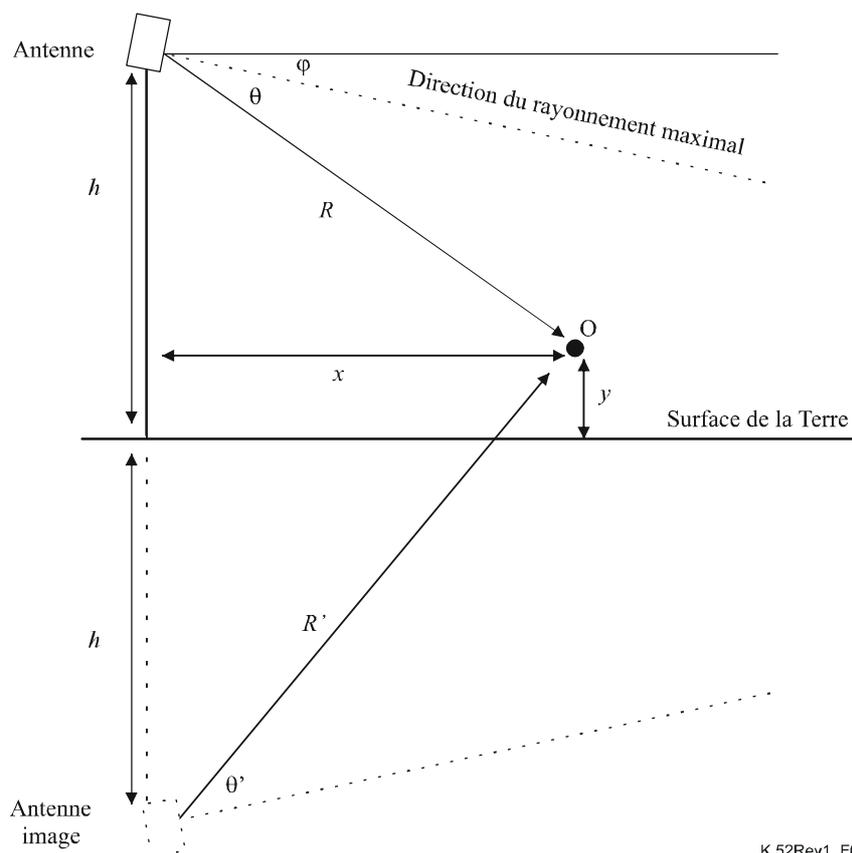


Figure 2/K.52 – Définition des distances et des angles verticaux

Dans le cas d'antennes de toit, l'affaiblissement dû aux matériaux de construction entrant dans la composition des murs et des plafonds peut réduire les valeurs d'exposition à l'intérieur d'un bâtiment d'au moins 10 à 20 dB.

Les champs électriques et magnétiques sont calculés selon les formules suivantes:

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

dans lesquelles $\eta_0 = 377 \Omega$ est l'impédance intrinsèque de l'espace libre.

Les équations ci-dessus sont valables pour la région de champ lointain. Leur utilisation dans la région de champ proche peut donner des résultats inexacts (trop modérés). Ces équations peuvent donc être utilisées pour déterminer la conformité aux limites d'exposition à des champs EMF.

9.2 Procédures de mesure

Les mesures sont utiles dans les cas où les champs sont difficiles à calculer et où les calculs donnent des valeurs voisines du seuil limite d'exposition. La Rec. UIT-T K.61 énonce les directives concernant les méthodes de mesure pouvant être utilisées pour vérifier la conformité aux normes relatives à l'exposition aux champs EMF. En outre, pour des informations sur les mesures des champs EMF, il convient de se référer aux publications énumérées dans le § 2 ainsi qu'aux normes nationales applicables. Par ailleurs, plusieurs des publications énumérées dans la Bibliographie donnent des informations détaillées sur les mesures des champs EMF à diverses fréquences.

10 Techniques de limitation de l'exposition

Il est nécessaire de limiter l'exposition aux champs EMF dans les lieux accessibles aux personnes dans lesquels les champs EMF dépassent les limites d'exposition fixées pour la sécurité des personnes. Un moyen efficace de limiter l'exposition lorsqu'il est impossible de modifier d'autres caractéristiques des installations consiste à interdire l'accès des zones dans lesquelles les limites sont dépassées.

10.1 Zone d'exposition au travail

Si les champs EMF dépassent les limites fixées pour l'exposition publique/non contrôlée sans protection mais qu'ils ne dépassent pas les limites fixées pour l'exposition au travail, il convient d'interdire l'accès de la zone au public, tout en autorisant certains employés à y accéder. Des barrières physiques, des procédures de verrouillage ou des panneaux appropriés peuvent être utilisés pour interdire l'accès. Les employés entrant dans la zone en question devraient être informés des risques.

Il est recommandé de ne pas installer un lieu de travail permanent dans la zone d'exposition au travail.

10.2 Zone de dépassement

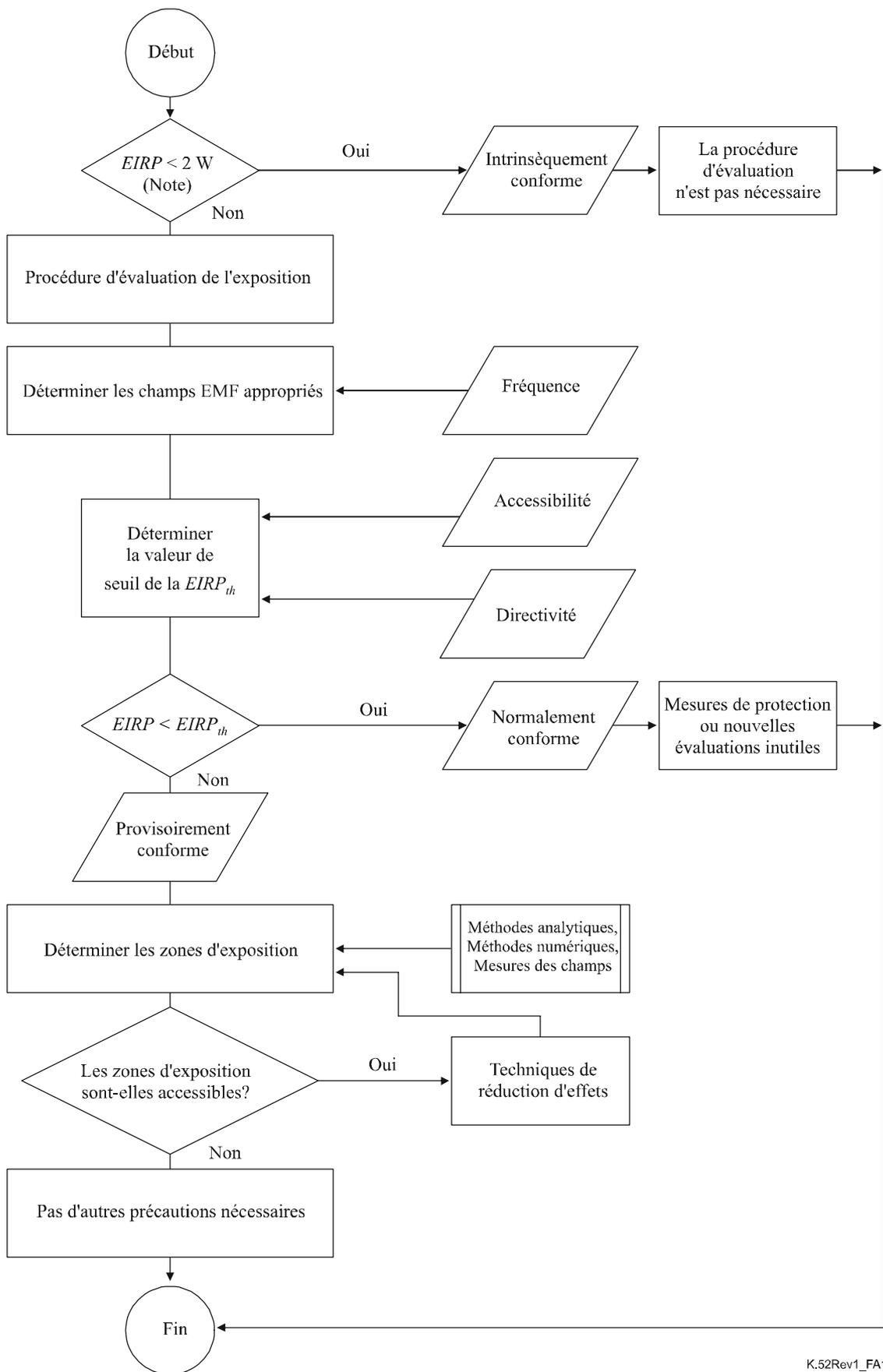
Il convient d'interdire l'accès des employés et du public à toute zone dans laquelle les champs EMF dépassent les limites fixées pour l'exposition au travail. Si, pour des nécessités de service, des employés doivent entrer dans cette zone, il convient de prendre des mesures pour assurer leur protection. On pourra par exemple:

- réduire temporairement la puissance de l'émetteur;
- limiter la durée de l'exposition de manière que la moyenne des temps d'exposition soit inférieure aux limites de sécurité;
- utiliser un blindage ou des vêtements de protection.

Annexe A

Organigramme d'application

La présente annexe contient l'organigramme de l'évaluation de l'exposition pour une source de champs EMF unique associée à une installation de télécommunication. Cet organigramme n'est applicable qu'aux équipements d'infrastructure de télécommunication, tels que les stations de base ou les stations terriennes.



K.52Rev1_FA1

NOTE – Voir l'Appendice IV.

Annexe B

Critères de base pour la détermination de la classe des installations

Les critères exposés ci-dessous facilitent la classification des installations en fonction des limites fixées par la CIPR-NI. Ces critères sont fondés sur une estimation prudente des risques d'exposition à des champs EMF dans les diverses situations décrites ci-dessous.

B.1 Sources intrinsèquement conformes

Les émetteurs ayant une EIRP maximale de 2 W ou inférieure sont classés comme étant intrinsèquement conformes. Aucune autre intervention n'est jugée nécessaire.

Si la puissance de rayonnement totale est de 100 mW ou inférieure et que la ou les antennes sont à hyperfréquences ou à ondes millimétriques à faible gain et petite ouverture, l'émetteur peut être considéré comme étant intrinsèquement conforme. Aucune autre intervention n'est jugée nécessaire.

Est de plus classé comme étant intrinsèquement conforme tout émetteur dont la construction du dispositif rayonnant interdit l'accès à toute zone dans laquelle les limites d'exposition risquent d'être dépassées.

B.2 Installations normalement conformes

Les critères proposés pour déterminer si une installation est normalement conforme tiennent compte de trois caractéristiques de cette installation: l'accessibilité et la directivité de l'antenne, ainsi que la fréquence du champ rayonné. Ces caractéristiques sont décrites aux § B.2.1, B.2.2 et B.2.3.

Les valeurs seuil $EIRP_{th}$ avec lesquelles sera comparée la puissance $EIRP$ de l'installation peuvent être déterminées sur la base des caractéristiques ci-dessus. L'Appendice III décrit une façon possible de définir les seuils $EIRP_{th}$.

B.2.1 Catégories d'accessibilité

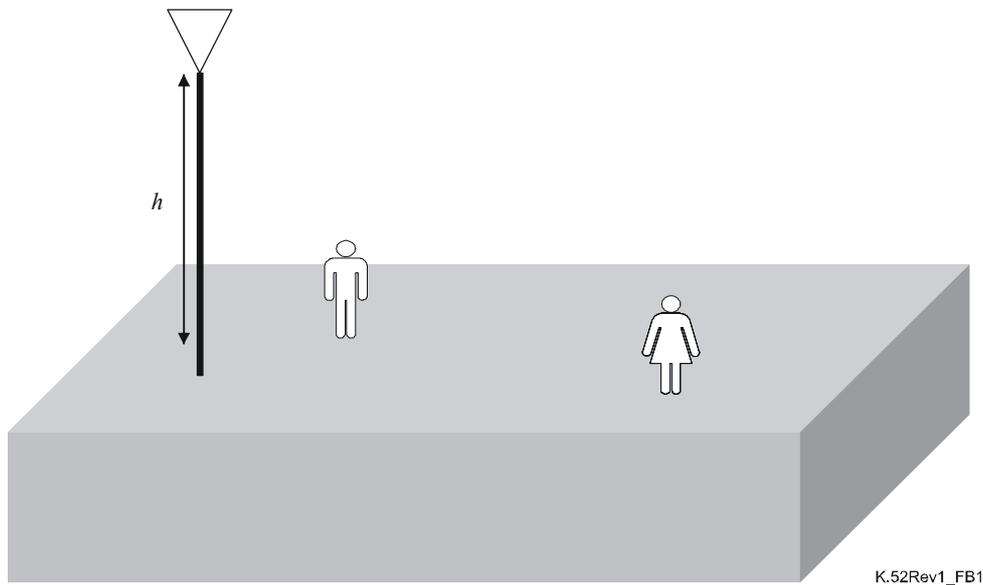
Les catégories d'accessibilité sont définies dans le présent paragraphe. Ces catégories, qui dépendent de la configuration de l'installation, permettent d'évaluer la probabilité qu'une personne pénètre dans la zone de dépassement de l'émetteur. Voir le Tableau B.1.

Tableau B.1/K.52 – Catégories d'accessibilité

Catégorie d'accessibilité	Configuration particulière de l'installation	Référence de la figure
1	L'antenne est installée sur un pylône inaccessible – le centre de rayonnement est à une hauteur h au-dessus du niveau du sol. Il y a une contrainte $h > 3$ m. L'antenne est installée sur une structure accessible au public (le faite d'un toit, par exemple) – Le centre de rayonnement est à une hauteur h au-dessus de la structure.	Figure B.1
2	L'antenne est installée au niveau du sol – Le centre de rayonnement est à une hauteur h au-dessus du niveau du sol. Il y a un bâtiment adjacent ou une structure accessible au public d'une hauteur h environ, située à une distance d de l'antenne, dans la direction de propagation. Il y a une contrainte $h > 3$ m.	Figure B.2

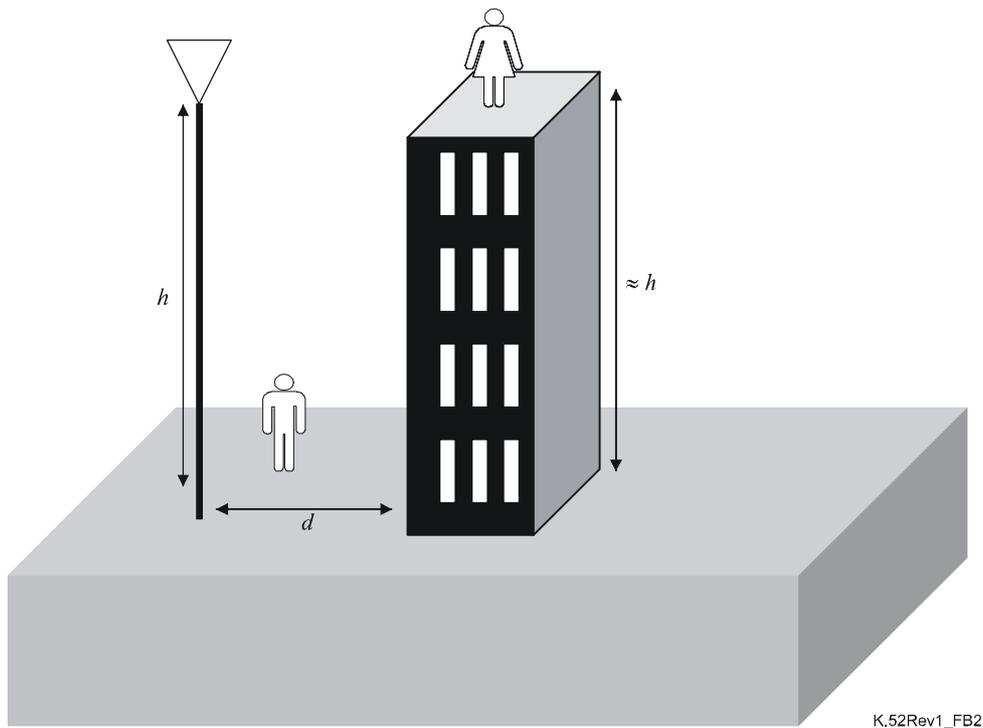
Tableau B.1/K.52 – Catégories d'accessibilité

Catégorie d'accessibilité	Configuration particulière de l'installation	Référence de la figure
3	L'antenne est installée au niveau du sol – Le centre de rayonnement est à une hauteur h ($h > 3$ m) au-dessus du niveau du sol. Il y a un bâtiment adjacent ou une structure accessible au public d'une hauteur h' environ, situé à une distance d de l'antenne, dans la direction de propagation.	Figure B.3
4	L'antenne est installée sur une structure à une hauteur h ($h > 3$ m). Est associée à l'antenne une zone d'exclusion, de deux formes géométriques définies: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="391 645 1043 678">– une zone circulaire, de rayon a, autour de l'antenne; <li data-bbox="391 689 1139 723">– une zone rectangulaire de dimension $a \times b$, devant l'antenne 	Figure B.4 Figure B.5



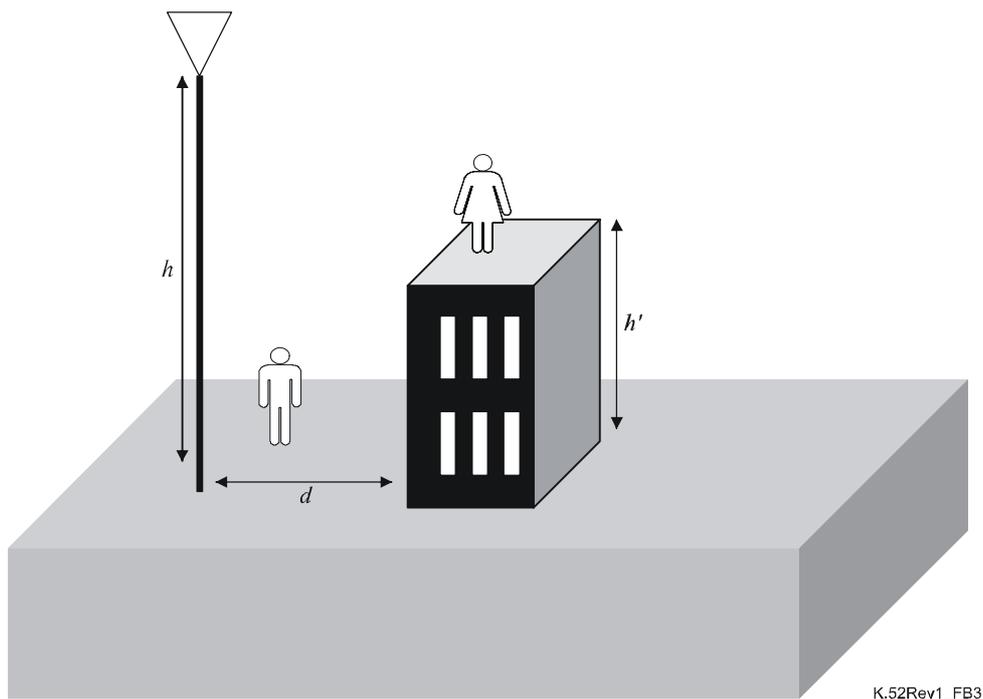
K.52Rev1_FB1

Figure B.1/K.52 – Illustration de la catégorie d'accessibilité 1



K.52Rev1_FB2

Figure B.2/K.52 – Illustration de la catégorie d'accessibilité 2



K.52Rev1_FB3

Figure B.3/K.52 – Illustration de la catégorie d'accessibilité 3

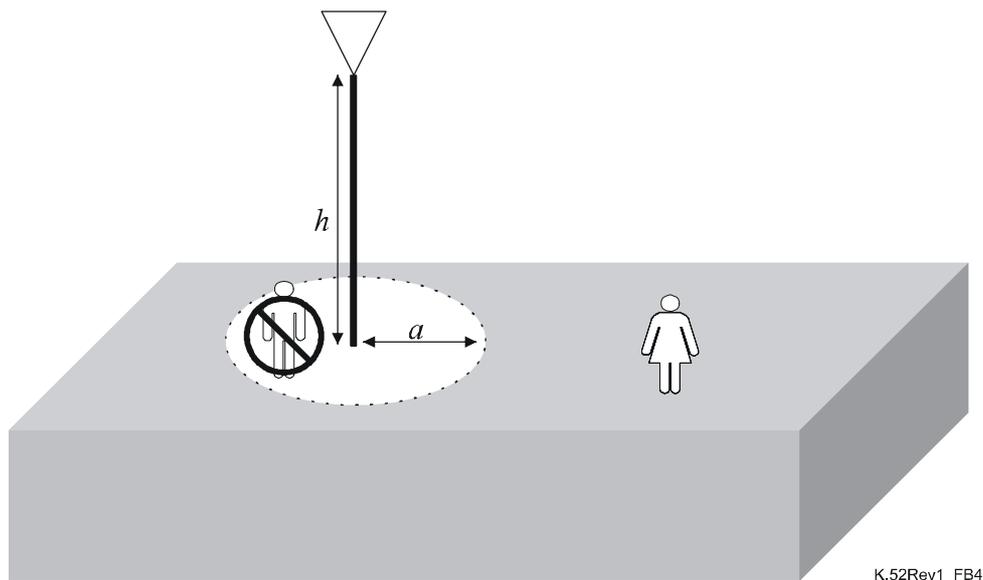


Figure B.4/K.52 – Illustration de la catégorie d'accessibilité 4, zone d'exclusion circulaire

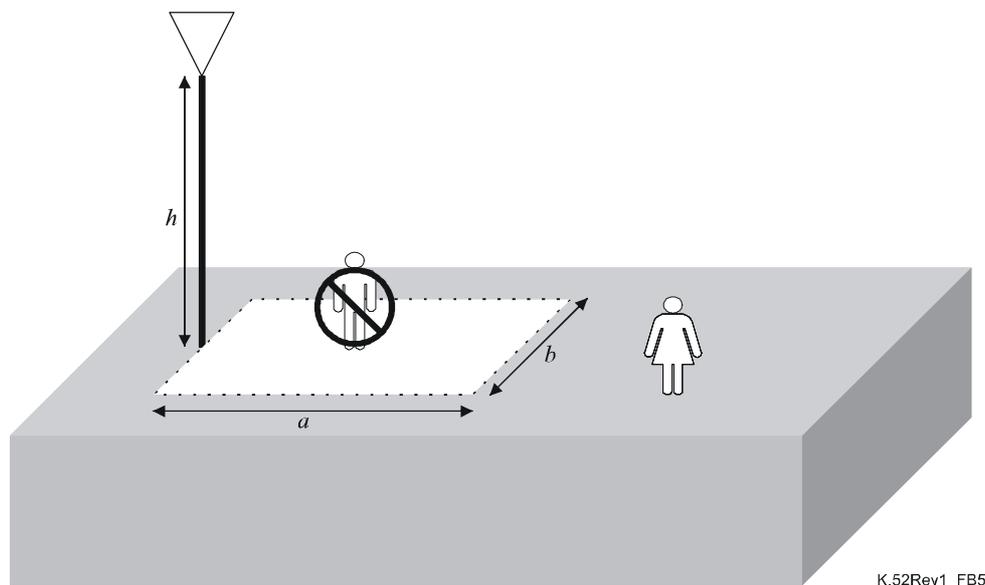


Figure B.5/K.52 – Illustration de la catégorie d'accessibilité 4, zone d'exclusion rectangulaire

B.2.2 Gammes de fréquences

La fréquence porteuse détermine la limite d'exposition pour la densité de puissance rayonnée, $S_{lim}(f)$ telle qu'elle ressort des normes d'exposition aux champs électromagnétiques.

B.2.3 Catégories de directivité des antennes

La directivité des antennes est importante car elle détermine le type de risque d'exposition. Une grande directivité se traduit par une concentration de l'essentiel de la puissance rayonnée dans un faisceau étroit, ce qui peut permettre de bien localiser les zones d'exposition.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est un facteur déterminant essentiel et qui varie souvent pour les calculs du champ. Le Tableau B.2 présente une description des antennes visant à faciliter la classification de celles-ci en catégories génériques. Le paramètre le plus important pour déterminer l'exposition due à des antennes élevées est le diagramme de rayonnement dans le plan vertical (site). Le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal (azimut) n'entre pas en ligne

de compte du fait que l'évaluation de l'exposition dans ce cas se fonde sur l'hypothèse d'une exposition dans la direction du rayonnement maximal.

A noter toutefois que les diagrammes de rayonnement dans les plans vertical et horizontal déterminent le gain d'antenne et que le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal détermine la zone d'exclusion pour la catégorie d'accessibilité 4.

Tableau B.2/K.52 – Catégorie de directivité des antennes

Catégorie de directivité	Description des antennes	Paramètres considérés
1	Doublet demi-onde	Aucun Voir Figure B.6
2	Antenne à couverture étendue (équidirective ou sectorielle) du type des antennes utilisées pour la communication ou la radiodiffusion hertzienne	<ul style="list-style-type: none"> • Ouverture à mi-puissance du faisceau dans le plan vertical: θ_{bw} • Amplitude maximale des lobes latéraux par rapport à la valeur maximale: A_{sl} • Inclinaison du faisceau: α Voir Figure B.7
3	Antenne à gain élevé produisant un "pinceau" (faisceau à symétrie circulaire), du type des faisceaux ponctuels utilisés pour les communications de point à point ou les stations terriennes	<ul style="list-style-type: none"> • Ouverture à mi-puissance du faisceau dans le plan vertical: θ_{bw} • Amplitude maximale des lobes latéraux par rapport à la valeur maximale: A_{sl} • Inclinaison du faisceau: α Voir Figure B.7

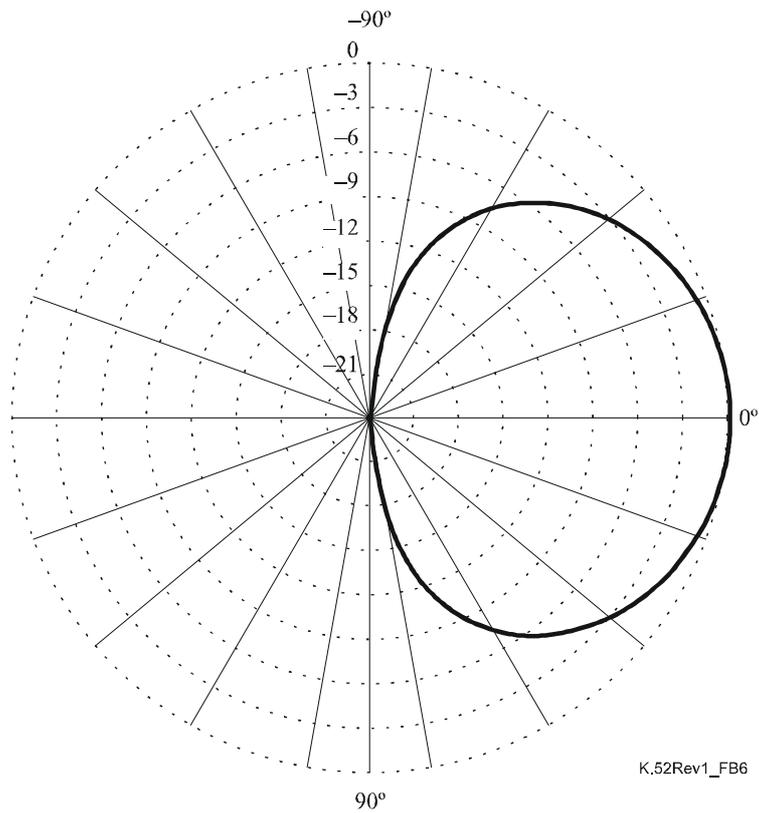


Figure B.6/K.52 – Diagramme de rayonnement d'un doublet demi-onde dans le plan vertical

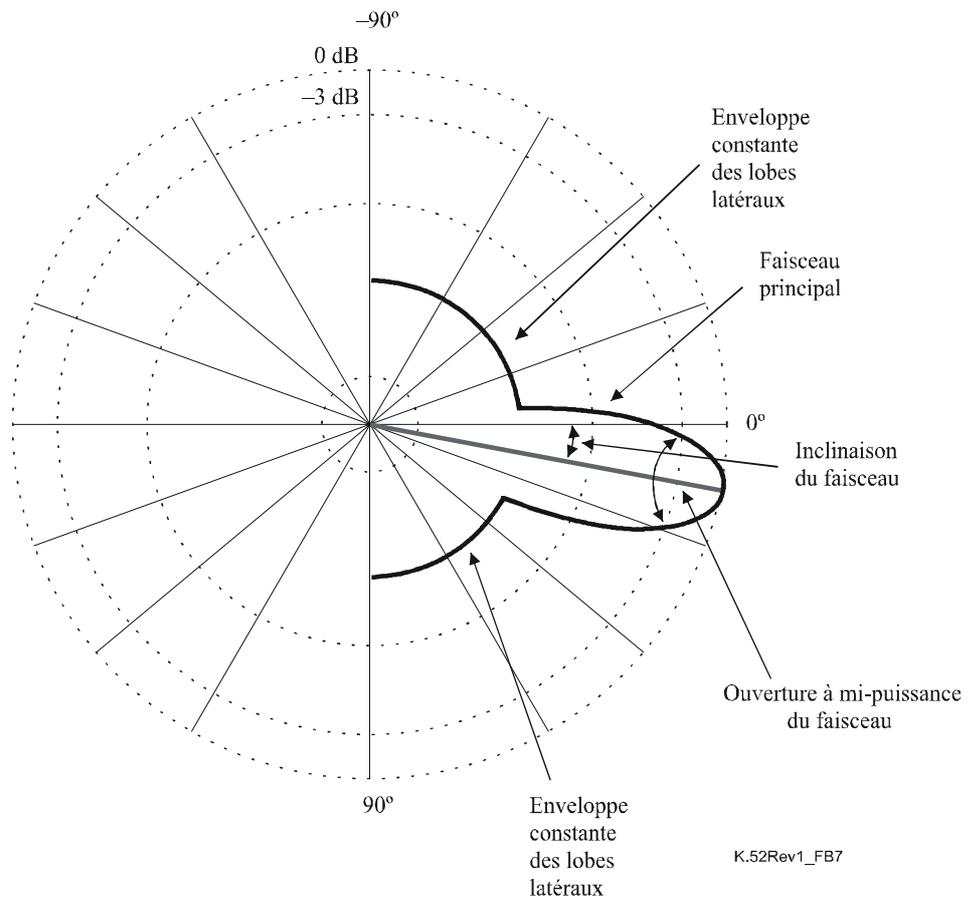


Figure B.7/K.52 – Illustration des termes relatifs aux diagrammes de rayonnement des antennes

B.2.4 Zone d'exclusion

Le présent paragraphe décrit les zones d'exclusion pour la catégorie d'accessibilité 4. La zone d'exclusion dépend du diagramme de rayonnement de l'antenne dans le plan horizontal. Le paramètre qui nous intéresse ici est la couverture de l'antenne dans le plan horizontal. Le Tableau B.3 présente les zones d'exclusion pour quelques valeurs types de la couverture d'antennes équidirectives, sectorielles ou à faisceau étroit dans le plan horizontal.

Tableau B.3/K.52 – Zone d'exclusion en fonction de la couverture dans le plan horizontal

Couverture dans le plan horizontal	Zone d'exclusion
Équidirective	Zone circulaire (Figure B.4)
120°	Zone rectangulaire (Figure B.5) $b = 0,866a$
90°	Zone rectangulaire (Figure B.5) $b = 0,707a$
60°	Zone rectangulaire (Figure B.5) $b = 0,5a$
30°	Zone rectangulaire (Figure B.5) $b = 0,259a$
Moins de 5°	Zone rectangulaire (Figure B.5) $b = 0,09a$

Appendice I

Limites fixées par la CIPR-NI

Le présent appendice passe en revue les limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps (jusqu'à 300 GHz) [1] publiées dans ses Directives par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPR-NI). Le présent appendice décrit les limites de base (taux d'absorption spécifique (SAR) et densité du courant) et les niveaux de référence des champs.

I.1 Limites de base

Le Tableau I.1 indique les limites de base.

Tableau I.1/K.52 – Limites de base fixées par la CIPR-NI

Type d'exposition	Gamme de fréquences	Densité du courant dans la tête et le tronc (mA/m ²) (écart type)	Taux SAR moyen pour la totalité du corps (W/kg)	Taux SAR localisé (tête et tronc) (W/kg)	Taux SAR localisé (membres) (W/kg)
Exposition professionnelle	Jusqu'à 1 Hz	40			
	1-4 Hz	$40/f$			
	4 Hz-1 kHz	10			
	1-100 kHz	$f/100$			
	100 kHz-10 MHz	$f/100$	0,4	10	20
	10 MHz-10 GHz		0,4	10	20
Exposition publique	Jusqu'à 1 Hz	8			
	1-4 Hz	$8/f$			
	4 Hz-1 kHz	2			
	1-100 kHz	$f/500$			
	100 kHz-10 MHz	$f/500$	0,08	2	4
	10 MHz-10 GHz		0,08	2	4

NOTE 1 – f est la fréquence en Hertz.

NOTE 2 – En raison de l'hétérogénéité électrique du corps humain, il convient de calculer la valeur moyenne de densité du courant sur une coupe transversale de 1 cm² perpendiculaire à la direction du courant.

NOTE 3 – Il convient de calculer la moyenne de toutes les valeurs du taux SAR sur une période de six minutes.

NOTE 4 – La masse moyenne du taux SAR localisé correspond à 10 g de tissus corporels contigus. La valeur maximale du taux SAR ainsi obtenue doit correspondre à la valeur retenue pour l'évaluation de l'exposition.

I.2 Niveaux de référence

Le Tableau I.2 indique les niveaux de référence.

**Tableau I.2/K.52 – Niveaux de référence fixés par la CIPR-NI
(valeurs efficaces en l'absence de perturbation)**

Type d'exposition	Gamme de fréquences	Intensité du champ électrique (V/m)	Intensité du champ magnétique (A/m)	Densité de puissance équivalente pour les ondes planes S_{eq} (W/m ²)
Exposition professionnelle	Jusqu'à 1 Hz	–	2×10^5	–
	1-8 Hz	20 000	$2 \times 10^5/f^2$	–
	8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	–
	0,025-0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	–
	0,82-65 kHz	610	24,4	–
	0,065-1 MHz	610	$1,6/f$	–
	1-10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	–
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0,36	50
Exposition publique	Jusqu'à 1 Hz	–	2×10^4	–
	1-8 Hz	10 000	$2 \times 10^4/f^2$	–
	8-25 Hz	10 000	$5000/f$	–
	0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	–
	0,8-3 kHz	$250/f$	5	–
	3-150 kHz	87	5	–
	0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	–
	1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	–
	10-400 MHz	28	0,073	2
	400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	0,16	10

NOTE 1 – f prend la valeur indiquée dans la colonne gamme de fréquences.

NOTE 2 – Pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 10 GHz, le temps d'intégration est de six minutes.

NOTE 3 – Pour les fréquences jusqu'à 100 kHz, les valeurs de crête peuvent être obtenues en multipliant la valeur efficace par $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Pour les impulsions de durée t_p , il convient de calculer la fréquence équivalente à appliquer selon la formule suivante: $f = 1/(2t_p)$.

NOTE 4 – Entre 100 kHz et 10 MHz, les valeurs de crête d'intensité de champ sont obtenues par interpolation entre 1,5 fois la valeur crête à 100 MHz et 32 fois la valeur crête à 10 MHz. Pour les fréquences de plus de 10 MHz, il est proposé que la valeur de crête de la densité de puissance équivalente pour les ondes planes, densité dont la valeur moyenne est calculée sur toute la largeur de l'impulsion, ne dépasse pas 1000 fois la limite S_{eq} , ou que l'intensité du champ ne dépasse pas les niveaux d'exposition aux champs indiqués dans le tableau.

NOTE 5 – Pour les fréquences supérieures à 10 GHz, le temps d'intégration est de $68/f^{1,05}$ minutes (f en GHz).

Les Figures I.1 et I.2 indiquent les champs de référence.

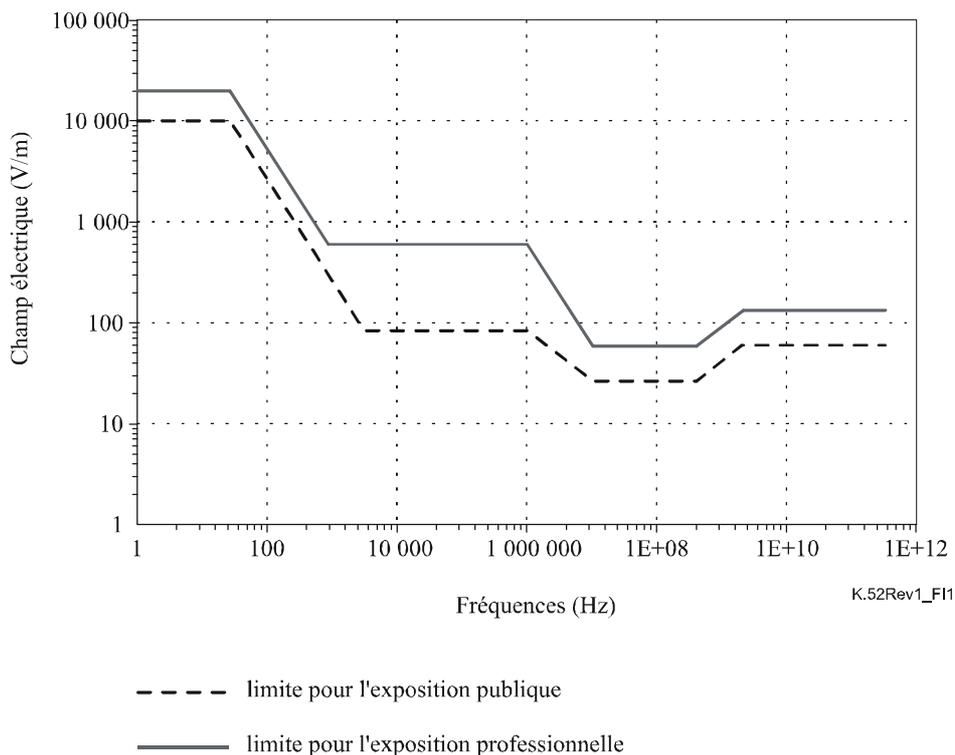


Figure I.1/K.52 – Niveaux de référence fixés par la CIPR-NI pour l'intensité du champ électrique

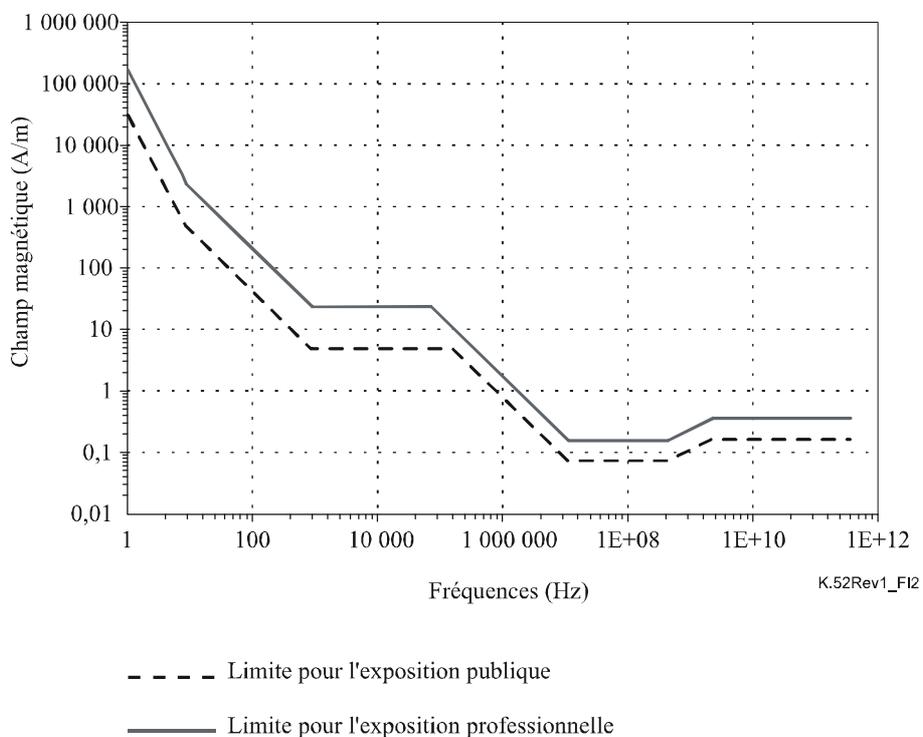


Figure I.2/K.52 – Niveaux de référence fixés par la CIPR-NI pour l'intensité du champ magnétique

I.3 Exposition simultanée à des sources multiples

La conformité aux limites applicables à l'exposition simultanée à des champs de différentes fréquences est évaluée au moyen des équations ci-dessous. Toutes les conditions applicables aux gammes de fréquences appropriées doivent être remplies.

$$\sum_{i=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

$$\sum_{j=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

dans lesquelles:

E_i est l'intensité du champ électrique à la fréquence i

$E_{l,i}$ est la limite de référence à la fréquence i

H_j est l'intensité du champ magnétique à la fréquence j

$H_{l,j}$ est la limite de référence à la fréquence j

$a = 610$ V/m pour l'exposition professionnelle et 87 V/m pour l'exposition publique

$b = 24,4$ A/m pour l'exposition professionnelle et 5 A/m pour l'exposition publique

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}} \right)^2 \leq 1$$

dans lesquelles:

E_i est l'intensité du champ électrique à la fréquence i

$E_{l,i}$ est la limite de référence à la fréquence i

H_j est l'intensité du champ magnétique à la fréquence j

$H_{l,j}$ est la limite de référence à la fréquence j

$c = 610/f$ V/m (f en MHz) pour l'exposition professionnelle et $87/f^{1/2}$ V/m pour l'exposition publique

$d = 1,6/f$ A/m (f en MHz) pour l'exposition professionnelle et $0,73/f$ pour l'exposition publique

Appendice II

Exemple d'évaluation simple de l'exposition à des champs électromagnétiques

Le présent appendice donne un exemple d'utilisation d'une méthode de prévision simple pour évaluer l'exposition à des champs EMF.

II.1 Exposition au niveau du sol

La configuration géométrique à prendre en considération pour calculer l'exposition au niveau du sol due à une antenne élevée est représentée sur la Figure II.1.

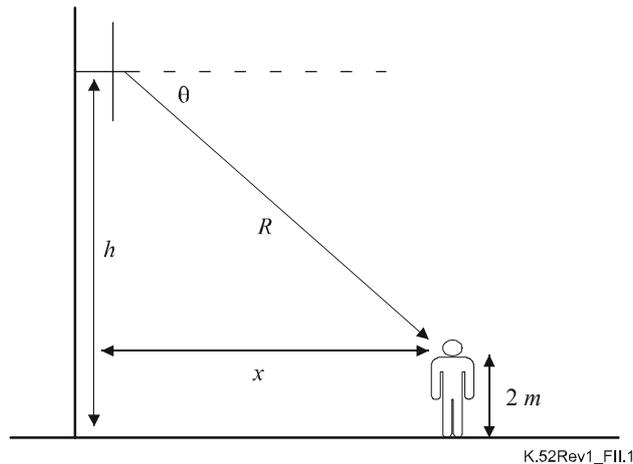


Figure II.1/K.52 – Exemple de configuration pour le calcul de l'exposition au niveau du sol

Une antenne est installée de telle sorte que son centre de rayonnement se trouve à la hauteur h au-dessus du sol. Le calcul a pour but d'évaluer la densité de puissance en un point situé à 2 m au-dessus du sol (à peu près à hauteur de la tête d'un homme), à une distance x du pylône. Dans l'exemple considéré ici, le faisceau principal est parallèle au sol et le gain de l'antenne (équidirective) est symétrique par rapport à l'axe de celle-ci.

Pour simplifier les données qui précèdent, définissons $h' = h - 2$ [m] par le calcul trigonométrique suivant:

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

Compte tenu des ondes réfléchies par le sol, la densité de puissance s'établit comme suit:

$$S = \frac{2,56}{4\pi} F(\theta) \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

NOTE – Le facteur de 2,56 pourrait être remplacé par 4 (c'est-à-dire compte tenu d'un facteur de réflexion de 1) si une approche plus stricte s'impose.

Par exemple, si l'antenne est un doublet demi-onde, le gain numérique relatif prend la forme suivante:

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

Ainsi, pour une source ayant une *EIRP* de 1000 W, la puissance d'exposition en fonction de x est indiquée à la Figure II.2 pour trois hauteurs différentes.

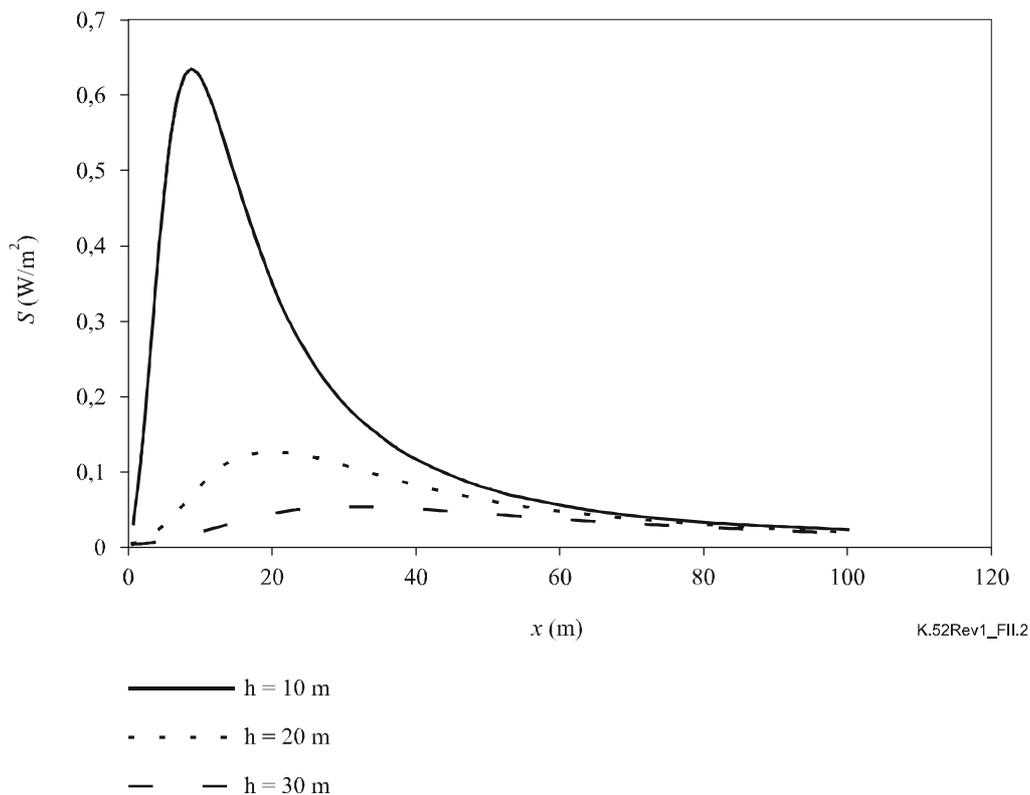


Figure II.2/K.52 – Densité de puissance au niveau du sol en fonction de la distance par rapport au pylône, calculée pour l'exemple considéré dans la Figure II.1

II.2 Exposition au niveau d'un bâtiment adjacent

La configuration géométrique à retenir pour le calcul de l'exposition au niveau d'un bâtiment adjacent à un pylône d'antenne est représentée sur la Figure II.3.

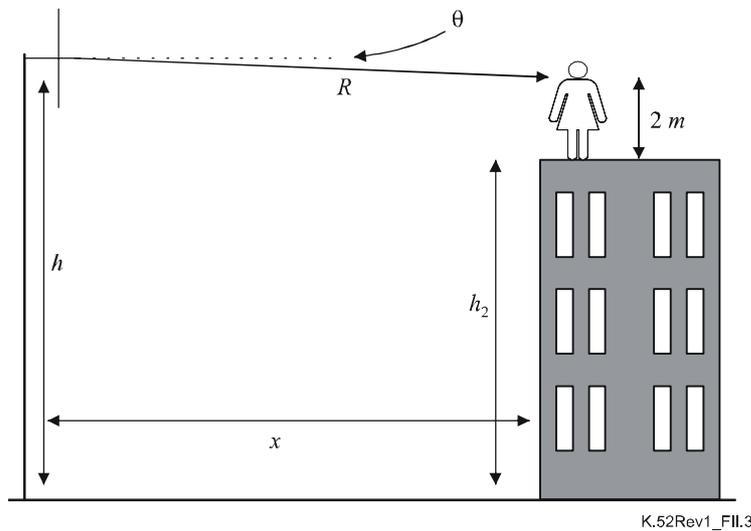


Figure II.3/K.52 – Exemple de configuration pour le calcul de l'exposition au niveau d'un bâtiment adjacent

Une antenne est installée de telle sorte que son centre de rayonnement se trouve à la hauteur h au-dessus du sol. Le calcul a pour but d'évaluer la densité de puissance en un point situé à 2 m au-dessus du niveau du toit (à peu près à hauteur de la tête d'un homme) d'un bâtiment adjacent. Ce bâtiment a une hauteur h_2 et est situé à une distance x du pylône. L'exposition la plus forte sera en principe constatée en bordure du toit, au point le plus proche de l'antenne. On part du principe que le faisceau principal est parallèle au sol et que le gain de l'antenne (équidirective) est symétrique par rapport à l'axe de celle-ci.

Ici encore, pour simplifier les données qui précèdent, définissons $h' = h - h_2 - 2$, en appliquant le calcul trigonométrique suivant:

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

Dans cette situation, les réflexions à la surface du sol seront négligeables du fait que l'onde réfléchie sera normalement affaiblie par le bâtiment, la densité de puissance étant alors exprimée par la formule suivante:

$$S = \frac{F(\theta)}{4\pi} \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

Par exemple, si l'antenne est un doublet demi-onde, le gain numérique relatif prend la forme suivante:

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

Ainsi, pour une source ayant une $EIRP$ de 1000 W, la puissance d'exposition en fonction de x est indiquée sur la Figure II.4 pour trois hauteurs relatives différentes $Dh = (h - h_2)$.

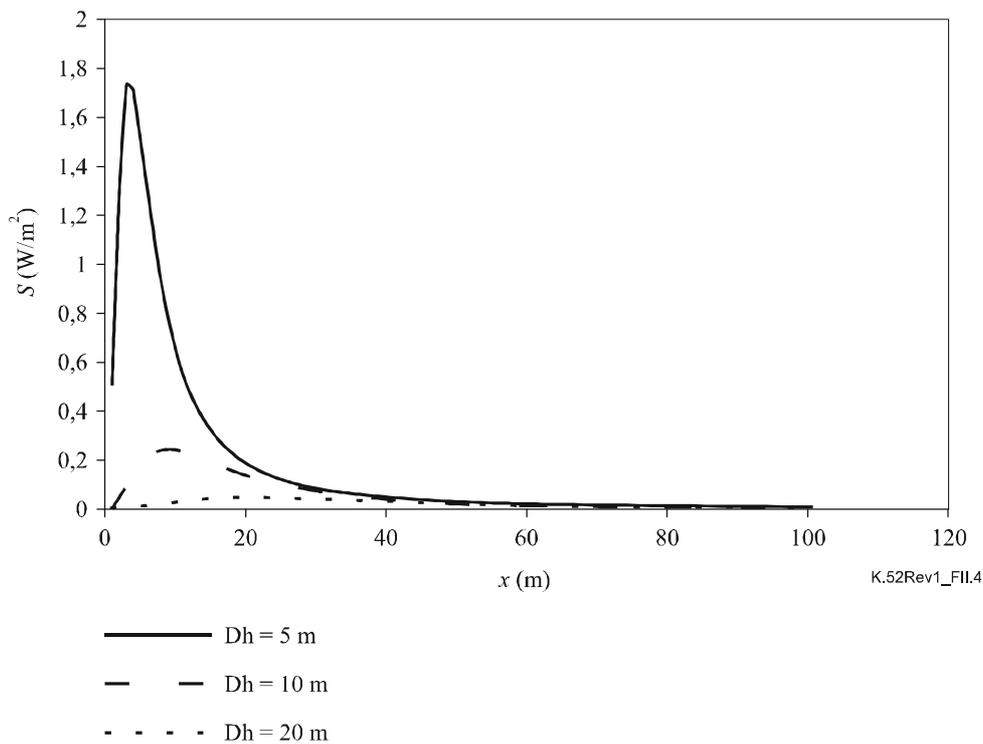


Figure II.4/K.52 – Densité de puissance au niveau du sol en fonction de la distance par rapport au pylône, calculée pour l'exemple considéré dans la Figure II.2

Appendice III

Exemple de calcul de valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$)

III.1 Valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$)

Les Tableaux III.1 à III.3 indiquent les expressions des valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$) d'après les limites fixées par la CIPR-NI, diverses gammes de fréquences, conditions d'accessibilité et catégories de directivité des antennes.

Il convient de souligner que la densité de puissance rayonnée ne peut être utilisée que dans les conditions de rayonnement dans le champ lointain, où elle est représentative des champs électriques et magnétiques. Cette densité correspond à la limite de validité de la procédure d'évaluation proposée pour les installations normalement conformes. Dans les cas où la procédure n'est pas applicable (basses fréquences ou exposition dans les conditions de rayonnement dans le champ proche, par exemple), l'installation doit être considérée comme étant provisoirement conforme.

Dans ses directives, la CIPR-NI définit trois gammes de fréquences auxquelles correspondent différentes valeurs limites de densité de puissance équivalente en ondes planes. Pour les fréquences supérieures à 100 MHz les valeurs limites s'établissent comme suit:

f (MHz)	$S_{lim}(f)$ (W/m ²)	
	Public	Employés
100-400	2	10
400-2 000	$f/200$	$f/40$
$2 \cdot 10^3$ - $300 \cdot 10^3$	10	50

Les valeurs de seuil de $EIRP_{th}$ sont indiquées en fonction de la hauteur des antennes ainsi que d'autres paramètres pertinents (accessibilité, directivité et fréquence) définis dans l'Annexe B.

L'Appendice IV donne une explication de valeurs de seuil de la EIRP ($EIRP_{th}$).

NOTE – Dans les tableaux qui suivent a, d, h et h' sont en mètres.

Tableau III.1/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 100-400 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
1	1	$8\pi(h-2)^2$	$40\pi(h-2)^2$
	2	Inférieure à: $8\pi(h-2)^2$ ou $2\pi d^2$	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2$ ou $10\pi d^2$
	3	Inférieure à: $8\pi(h-2)^2$ ou $2\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2$ ou $10\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $8\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ ou $2\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ ou $10\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $2\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Tableau III.1/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 100-400 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
2	2 (déterminé par: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $2\pi d^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi d^2$
	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $2\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $2\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Visibilité directe généralement requise)	N/A (Visibilité directe généralement requise)
	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{\pi}{2A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{2,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$

Tableau III.1/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 100-400 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
3	4	Inférieure à: $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $2\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Tableau III.2/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 400-2000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
1	1	$\frac{f\pi}{50} (h-2)^2$	$\frac{f\pi}{10} (h-2)^2$
	2	Inférieure à: $\frac{f\pi}{50} (h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200} d^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{10} (h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40} d^2$
	3	Inférieure à: $\frac{f\pi}{50} (h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{10} (h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{f\pi}{50} (h-2)^2 \text{ \{Si } a < (h-2)\}$ ou $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{10} (h-2)^2 \text{ \{Si } a < (h-2)\}$ ou $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$

Tableau III.2/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 400-2000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
2	1	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (déterminée par: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200}d^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Visibilité directe généralement requise)	N/A (Visibilité directe généralement requise)

Tableau III.2/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 400-2000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
3	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{50A_{sl}}\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{f\pi}{10A_{sl}}\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$ ou $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})}\right]^2$	Inférieure à: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$ ou $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})}\right]^2$

Tableau III.3/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 2000-300 000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2$ ou $10\pi d^2$	Inférieure à: $200\pi(h-2)^2$ ou $50\pi d^2$
	3	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2$ ou $10\pi\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$	Inférieure à: $200\pi(h-2)^2$ ou $50\pi\left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Inférieure à: $40\pi(h-2)^2$ {Si $a < (h-2)$ } ou $10\pi\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$	Inférieure à: $200\pi(h-2)^2$ {Si $a < (h-2)$ } ou $50\pi\left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a}\right]^2$

Tableau III.3/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 2000-300 000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
2	1	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (déterminée par: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi d^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $50\pi d^2$
	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Visibilité directe généralement requise)	N/A (Visibilité directe généralement requise)

Tableau III.3/K.52 – Conditions de conformité normale des installations d'après les limites fixées par la CIPR-NI pour la gamme de fréquences 2000-300 000 MHz

Catégorie de directivité	Catégorie d'accessibilité	Valeur de seuil de $EIRP_{th}$ (W)	
		Public	Employés
3	3 (déterminée par: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{2,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ ou $\frac{12,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Inférieure à: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $10\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Inférieure à: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ ou $50\pi \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
<p>NOTE 1 – f est exprimé en MHz.</p> <p>NOTE 2 – Il convient d'exprimer tous les angles en radians.</p> <p>NOTE 3 – Il convient d'exprimer A_{sl} sous forme de facteur numérique. Toutefois, en règle générale, A_{sl} est indiqué en dB par rapport à la valeur maximale. Aux fins de conversion: $A_{sl} = 10^{A_{sl}[\text{dB}]/10}$.</p>			

Appendice IV

Explication des valeurs de seuil de $EIRP_{th}$ des tableaux de l'Appendice III

Le présent appendice donne des explications sur les valeurs de seuil de $EIRP_{th}$ figurant dans l'Appendice III. Ces explications sont fondées sur des calculs utilisant dans tous les cas des expressions du champ lointain. La gamme de fréquences à laquelle ces explications s'appliquent est donc limitée aux fréquences supérieures à 100 MHz.

IV.1 Sources intrinsèquement conformes

Le critère applicable à une source intrinsèquement conforme est une valeur de $EIRP$ de 2 W ou inférieure, sauf pour des antennes à hyperfréquences ou à ondes millimétriques à faible gain et petite ouverture pour lesquelles une puissance de rayonnement totale de 100 mW ou inférieure peut être considérée comme étant intrinsèquement conforme. Cette valeur de $EIRP$ correspond à une densité de puissance de 0,16 W/m² à une distance de 1 m, la limite inférieure de densité de puissance fixée par la CIPR-NI pour le public étant de 2 W/m².

IV.2 Normalement conformes

Les critères applicables aux installations normalement conformes découlent d'un examen de l'exposition au niveau du sol et au niveau des bâtiments ou structures adjacents. Une procédure de base permettant de procéder aux calculs a été présentée au § 9.1.2. Les deux facteurs déterminants

sont le diagramme de rayonnement de l'antenne et les conditions d'accessibilité. Pour le calcul des critères de classification, les hypothèses prudentes supplémentaires suivantes sont admises:

- coefficient de réflexion de 1 pour l'exposition au niveau du sol;
- toute exposition est présumée se produire pour la valeur maximale de rayonnement de l'antenne dans le plan horizontal.

Les calculs des différentes catégories de directivité d'antenne sont présentés dans les sous-paragraphe qui suivent.

IV.2.1 Catégorie de directivité 1

Le gain numérique relatif d'un doublet infinitésimal donne une approximation de la fonction de gain d'antenne.

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \approx \cos^2 \theta$$

Le doublet infinitésimal présente la fonction de gain le plus étendu dans le plan vertical pour une source équidirective. Cette situation correspond donc à la condition d'exposition la plus forte au niveau du sol pour un axe du faisceau principal parallèle au sol, en des points proches de celui-ci ou plus élevés.

Un tel gain permet d'obtenir de manière analytique la puissance d'exposition sous la forme d'une fonction x par l'expression suivante:

$$S(x) = \frac{EIRP}{4\pi} \left(\frac{x}{x^2 + h_d^2} + \frac{x}{x^2 + h_s^2} \right)^2$$

dans laquelle h_d est la différence entre la hauteur du centre de phase de l'antenne, h , et la hauteur du point d'observation, et h_s est la somme des valeurs. La hauteur du point d'observation est de 2 m pour l'exposition au niveau du sol et de h' pour l'exposition au niveau des structures adjacentes. Bien que relevant de calculs complexes, l'exposition maximale peut être évaluée de manière approchée et prudente en posant $h_s = h_d$. Si elle devrait donner des résultats relativement exacts pour des points proches de la surface du sol, cette approximation donnera des valeurs sensiblement trop élevées pour des points nettement plus éloignés de la surface du sol. Avec cette approximation, l'exposition maximale se produit pour $x = h_d$ et est égale à:

$$S_{max}(h) = \frac{1}{4\pi} \frac{EIRP}{h_d^2}$$

Pour des valeurs limites données de la densité de puissance équivalente pour les ondes planes, S_{lim} et une hauteur d'antenne donnée, la valeur maximale de $EIRP$ qui devrait assurer la conformité peut être calculée par l'expression suivante:

$$EIRP_{th} = 4\pi h_d^2 S_{lim}$$

IV.2.2 Catégorie de directivité 2

Dans le cas considéré ici, le diagramme de rayonnement de l'antenne censé être obtenu est constitué de deux éléments: le faisceau principal et l'enveloppe des lobes latéraux d'amplitude constante. Le diagramme de rayonnement peut être obtenu par l'expression suivante:

$$F(\theta) = \begin{cases} \left[\frac{\sin[c \sin(\theta - \alpha)]}{c \sin(\theta - \alpha)} \right]^2 & \text{Faisceau principal} \\ A_{sl} & \text{Enveloppe des lobes latéraux} \end{cases}$$

Le paramètre c détermine l'ouverture à mi-puissance du faisceau comme suit:

$$c = \frac{1,392}{\sin(\theta_{bw}/2)}$$

La transition de la région du faisceau principal à celle des lobes latéraux est difficile à évaluer de manière analytique. Le premier élément néant de la fonction du faisceau principal peut toutefois en donner une approximation. Les premiers éléments néants se produisent pour:

$$\theta_{n1,n2} = \alpha \pm \sin^{-1} \left[\frac{\pi}{1,392} \sin \left(\frac{\theta_{bw}}{2} \right) \right] \approx \alpha \pm 2,257 \frac{\theta_{bw}}{2}$$

En dehors du faisceau principal, on utilise l'enveloppe constante pour le calcul de l'exposition, si bien que l'exposition maximale se produit directement en un point situé au-dessous de l'antenne. Dans beaucoup de cas, il s'agit d'une hypothèse prudente du fait que le diagramme de rayonnement de l'antenne peut comporter un élément néant en ce point. Toutefois, en l'absence d'informations supplémentaires sur le diagramme de rayonnement, l'hypothèse la plus prudente est retenue. Dans certains cas, l'enveloppe constante peut être modulée par un facteur de doublet ($\cos\theta$), par exemple lorsque l'exposition des lobes latéraux se produit loin de la base de l'antenne.

En outre, pour simplifier les calculs, on se place dans l'hypothèse d'une puissance constante dans le faisceau principal ($F(\theta) = 1$). La condition pour qu'un point (x,y) se situe à l'intérieur du faisceau est alors la suivante:

$$h - x \operatorname{tg} \theta_{n1} \leq y \leq h - x \operatorname{tg} \theta_{n2}$$

IV.2.3 Catégorie de directivité 3

La différence principale entre le calcul de l'exposition pour la catégorie de directivité 3 et le calcul de l'exposition pour la catégorie de directivité 2 réside dans le traitement du champ réfléchi. Les antennes de la catégorie de directivité 3 étant utilisées pour des liaisons point à point, il n'y a pas lieu de tenir compte des ondes réfléchies pour l'exposition dans le faisceau principal.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ICNIRP (CIPR-NI, Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants), *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz)*.
- [2] FCC, 96-326, *Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation*.
- [3] ANSI/IEEE C95.1, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*.
- [4] Conseil de l'Union européenne, *Recommandation 1999/519/EC du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz)*.
- [5] Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, *Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du Conseil, du 29 avril 2004, concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques)*.
- [6] Code de sécurité 6 de Santé Canada, *Limites d'exposition humaine aux champs de radiofréquences électromagnétiques dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz*.
- [7] ANSI/IEEE C95.3, *Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*.
- [8] IEEE 291, *Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strengths of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*.
- [9] IEEE C63.2, *Standard Electromagnetic Noise and Field Strengths Instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – Specifications*.
- [10] OET Bulletin 65, *Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields*.
- [11] IEEE 644, *Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from a.c. power lines*.
- [12] IEEE 473, *IEEE recommended practice for an electromagnetic site survey (10 kHz to 10 GHz)*.
- [13] Projet de Recommandation UIT-R BS.6/BL/25 (2005), *Evaluation des champs provenant des systèmes d'émission de radiodiffusion par voie hertzienne de Terre fonctionnant dans n'importe quelle bande de fréquences pour estimer l'effet de l'exposition aux rayonnements non ionisants*.
- [14] IEEE 1528, *IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques*.
- [15] ETSI TR 101 870, *Fixed radio transmitter sites; Exposure to non-ionizing electromagnetic fields; Guidelines for working conditions*.

SÉRIES DES RECOMMANDATIONS UIT-T

Série A	Organisation du travail de l'UIT-T
Série D	Principes généraux de tarification
Série E	Exploitation générale du réseau, service téléphonique, exploitation des services et facteurs humains
Série F	Services de télécommunication non téléphoniques
Série G	Systèmes et supports de transmission, systèmes et réseaux numériques
Série H	Systèmes audiovisuels et multimédias
Série I	Réseau numérique à intégration de services
Série J	Réseaux câblés et transmission des signaux radiophoniques, télévisuels et autres signaux multimédias
Série K	Protection contre les perturbations
Série L	Construction, installation et protection des câbles et autres éléments des installations extérieures
Série M	Gestion des télécommunications y compris le RGT et maintenance des réseaux
Série N	Maintenance: circuits internationaux de transmission radiophonique et télévisuelle
Série O	Spécifications des appareils de mesure
Série P	Qualité de transmission téléphonique, installations téléphoniques et réseaux locaux
Série Q	Commutation et signalisation
Série R	Transmission télégraphique
Série S	Equipements terminaux de télégraphie
Série T	Terminaux des services télématiques
Série U	Commutation télégraphique
Série V	Communications de données sur le réseau téléphonique
Série X	Réseaux de données, communication entre systèmes ouverts et sécurité
Série Y	Infrastructure mondiale de l'information, protocole Internet et réseaux de nouvelle génération
Série Z	Langages et aspects généraux logiciels des systèmes de télécommunication