



Institut scientifique  
de service public

Métrologie environnementale  
Recherche – Analyses  
Essais – Expertises

**Siège social et site de Liège :**  
Rue du Chéra, 200  
B-4000 Liège  
Tél : +32(0)4 229 83 11  
Fax : +32(0)4 252 46 65  
**Site web :** <http://www.issep.be>

**Site de Colfontaine :**  
Zoning A. Schweitzer  
Rue de la Platinerie  
B-7340 Colfontaine  
Tél : +32(0)65 61 08 11  
Fax : +32(0)65 61 08 08

Liège, le 12 septembre 2016.

**ANNEXE**  
**DE L'AVIS RELATIF A LA PROTECTION**  
**CONTRE LES EVENTUELS EFFETS NOCIFS ET NUISANCES**  
**PROVOQUES PAR LES RAYONNEMENTS NON IONISANTS**  
**GENERES PAR DES ANTENNES EMETTRICES STATIONNAIRES**

Version 3.3.1.

## **A1. Décret du 3 avril 2009 relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants générés par des antennes émettrices stationnaires**

En Région wallonne, les émissions électromagnétiques dans la gamme des radiofréquences (de 100 kHz à 300 GHz) sont régies par le décret du 3 avril 2009 (M.B. du 06.05.2009) relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants générés par des antennes émettrices stationnaires et dénommé ci-après « le décret ».

L'article 4 de ce décret stipule que dans les lieux de séjour, l'intensité du rayonnement électromagnétique générée par toute antenne émettrice stationnaire ne peut pas dépasser la limite d'immission de 3 V/m. Cette limite d'immission est une valeur efficace moyenne calculée et mesurée durant une période quelconque de 6 minutes et sur une surface horizontale de  $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ , par antenne.

Le décret précise également :

- que l'intensité du rayonnement électromagnétique dans les lieux de séjour est calculée et mesurée aux niveaux suivants :
  - dans les locaux : 1,50 m au-dessus du niveau du plancher ;
  - dans les autres espaces : 1,50 m au-dessus du niveau du sol.
- que la limite d'immission s'applique à toute antenne émettrice stationnaire sans que soient pris en compte les rayonnements électromagnétiques générés par d'autres sources de rayonnements électromagnétiques éventuellement présentes ;
- que les antennes dites multi-bandes conçues pour rayonner simultanément les signaux de N réseaux sont considérées comme équivalentes à N antennes distinctes ;
- que lorsque plusieurs antennes installées sur un même support sont utilisées pour émettre les signaux d'un même réseau dans une zone géographique, elles sont considérées comme ne formant qu'une seule antenne.

Selon l'article 2 du décret, on entend par :

- antenne émettrice stationnaire : élément monté sur un support fixe de manière permanente, qui génère un rayonnement électromagnétique dans la gamme de fréquences comprise entre 100 kHz et 300 GHz et dont la PIRE maximale est supérieure à 4 W, et qui constitue l'interface entre l'alimentation en signaux haute fréquence par câble ou par guide d'onde et l'espace, et qui est utilisée dans le but de transmettre des télécommunications ;
- lieux de séjour : les locaux d'un bâtiment dans lesquels des personnes peuvent ou pourront séjourner régulièrement tels que les locaux d'habitation, école, crèche, hôpital, home pour personnes âgées, les locaux de travail occupés régulièrement par des travailleurs, les espaces dévolus à la pratique régulière du sport ou de jeux à l'exclusion, notamment, des voiries, trottoirs, parkings, garages, parcs, jardins, balcons, terrasses ;
- Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) : la PIRE est égale au produit de la puissance fournie à l'entrée de l'antenne par son gain maximum (c'est-à-dire le gain mesuré par rapport à une antenne isotrope dans la direction où l'intensité du rayonnement est maximale).

**Remarque** : Les commentaires des articles du décret (v. not. Doc., P.W., 2008-2009, n°941/1, pp.3 à 5, sp. p.4) nous éclairent sur les raisons qui ont conduit le législateur à opter pour une faible limite d'immission par antenne plutôt que pour une limite d'immission globale, ce qui aurait impliqué, dans

les cas d'exposition aux rayonnements de plusieurs antennes, la prise en compte d'un cumul d'immissions.

Dans les commentaires relatifs à l'article 4, on peut lire : « *Une limite d'immission globale couvrant une très large bande de fréquences (de 100 kHz à 300 GHz) est impossible à contrôler. C'est pourquoi le calcul et le mesurage de l'intensité du champ électromagnétique de toute antenne émettrice stationnaire dont la PIRE maximale est supérieure à 4 W excluent les champs électromagnétiques générés par d'autres sources. En effet, dès lors que les cas d'exposition à plusieurs sources sont fréquents, le dépassement de l'intensité maximale peut résulter de l'ajout d'une installation ou bien d'une modification, même mineure, d'une installation existante (par exemple, un changement de l'inclinaison du faisceau) située, le cas échéant, sur un autre support. Dans une telle hypothèse, le contrôle tant a priori qu'a posteriori s'avère impossible à mener en pratique. De même, la responsabilité de l'auteur du dépassement est tout autant impossible à établir. Afin d'obvier ces écueils, il s'indique de prévoir une limite d'immission s'appliquant à un objet clairement identifiable.* »

On notera que le législateur s'est également soucié du niveau que pourrait atteindre l'immission cumulée dans les cas d'exposition aux rayonnements de plusieurs antennes puisque les commentaires de l'article 4 mentionnent que : « *Une question légitime est de savoir à combien pourrait s'élever l'immission totale lorsqu'il y a recouvrement des immissions de plusieurs antennes dont aucune ne produit jamais plus de 3 V/m. [...] En conséquence, compte tenu de ces particularités, la fixation d'une limite d'immission de 3 V/m par antenne permet de garantir que la moyenne de l'immission cumulée, par exemple sur une durée de 24 heures, ne dépasse guère quelques V/m, même dans les lieux de séjour exposés à plusieurs antennes. [...] Dans tous les cas, l'immission cumulée reste très faible au regard des limites préconisées par l'ICNIRP, qui sont appuyées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Ces limites ont été adoptées dans la majorité des normes nationales (Allemagne, Autriche, France, Espagne, Portugal, Pays-Bas, Grande-Bretagne, Suède, USA, Japon, Canada, ...) ainsi que dans la recommandation du Conseil de l'Union européenne (1999). Les limites préconisées par l'ICNIRP varient entre 87 et 28 V/m selon la fréquence. La limite d'immission de 3 V/m par antenne et indépendamment de la fréquence est donc entre 87 (28/3 élevé au carré) et 841 (87/3 élevé au carré) plus faible que ce que préconisent l'ICNIRP et l'OMS. En conclusion, la fixation d'une limite d'immission de 3 V/m par antenne garantit donc une immission cumulée moyenne faible si on la compare aux recommandations des instances sanitaires internationales.* »

Les effets cumulés des différentes sources d'émission contrôlables ont été pris en considération dans l'analyse qui précède, par application de la norme d'immission de l'article 4 du décret.

Comme l'indiquent les commentaires de l'article 4, le législateur wallon ne s'est pas borné, dans cet article, à imposer une norme d'immission de 3 V/m limitée à chaque antenne, sans autre considération : il a estimé que, dans les faits, sur la base des éléments disponibles et des analyses – notamment françaises – réalisées, l'imposition d'une norme d'immission de 3 V/m par antenne était de nature à garantir que l'immission cumulée reste extrêmement faible au regard des limites préconisées par l'ICNIRP, qui sont appuyées par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.).

En d'autres termes, la norme d'immission de l'article 4 du décret correspond à une appréciation de l'immission cumulée maximale admissible.

Aux considérations développées lors des travaux parlementaires, s'ajoutent un certain nombre d'éléments qui doivent être pris en compte lorsqu'est posée la question du cumul de rayonnements de plusieurs antennes :

- dans le cas où plusieurs antennes sont présentes dans une même zone (sur un même support ou sur des supports différents), il est très peu probable qu'elles produisent toutes leur maximum exactement au même endroit. Elles sont, en effet, rarement orientées dans la même direction (en azimut et en élévation) et ont des caractéristiques différentes ;
- dans certaines applications, la puissance rayonnée varie dans le temps. C'est notamment le cas des antennes des réseaux de téléphonie mobile dont la puissance maximale n'est que très rarement atteinte. La vérification du respect de la limite d'immission étant basée sur la puissance maximale, le champ sera, la plupart du temps, inférieur à la valeur ainsi calculée. Dans le cas d'exposition aux rayonnements de plusieurs antennes, la probabilité qu'elles émettent toutes simultanément au maximum de leur puissance est très faible. Le maximum du cumul des rayonnements de cet ensemble d'antennes sera bien évidemment nettement inférieur à la somme des maxima produits par chacune prise isolément ;
- il faut également mentionner que certaines antennes n'émettent que pendant des durées très brèves, d'où un champ nul la plupart du temps. En outre, de nombreuses antennes produisent un champ négligeable par rapport à 3 V/m. C'est le cas pour les antennes de faible puissance placées à une hauteur nettement supérieure à celle des lieux de séjour. De telles antennes contribuent de manière généralement négligeable au cumul des immissions ;
- en ce qui concerne les antennes directives, comme celles utilisées dans les réseaux de téléphonie mobile (GSM, UMTS, LTE, ...) qui sont généralement installées par groupe de trois, chaque antenne ne rayonne que dans un secteur d'environ 120°. Le champ qu'elle produit en dehors de ce secteur est faible, voire négligeable ;
- l'intensité du champ est inversement proportionnelle à la distance entre l'antenne et le point considéré. Dans le cas des réseaux de téléphonie mobile, même les antennes les plus puissantes sont incapables de produire plus de 1 V/m à une distance de 500 m. Or, 1 V/m ne représente que 1/784 fois (c'est-à-dire  $1^2/28^2$ ) la limite la plus faible recommandée par l'ICNIRP, ce qui démontre, en ce qui concerne le cumul de rayonnements, l'impact négligeable de telles antennes lorsqu'elles se trouvent à quelques centaines de mètres du point considéré.

Au reste, comme le rappellent les commentaires relatifs à l'article 4 du décret, la limite d'immission préconisée par l'ICNIRP et l'OMS varie entre 28 et 87 V/m en fonction de la fréquence. Si l'on retient la limite la plus faible, c'est-à-dire 28 V/m, on pourrait en déduire qu'il faudrait au moins 87 antennes ( $28/3$  élevé au carré) produisant chacune, en un même point, 3 V/m pour que cette limite soit atteinte. Lorsqu'il s'agit d'antennes des réseaux de téléphonie mobile, la limite d'immission préconisée par l'ICNIRP et l'OMS se situe entre 38,7 et 61 V/m. Ce n'est donc pas 87 antennes qui seraient nécessaires, mais au moins 166 ( $38,7/3$  élevé au carré). En pratique, et compte tenu des considérations développées aux points 1 à 5 ci-dessus, si toutes les antennes présentes dans un rayon de plusieurs centaines de mètres autour des lieux de séjour concernés, produisent, dans ces lieux, un champ inférieur ou égal à 3 V/m, il faudrait plusieurs centaines d'antennes pour que le champ total puisse éventuellement dépasser la limite d'immission recommandée par l'ICNIRP et reprise dans la recommandation 1999/519/CE. Un tel cas est purement théorique et peut être tout à fait exclu.

En conclusion, l'imposition d'une limite d'immission par antenne facilite le contrôle tant a priori qu'a posteriori et permet de déterminer les responsabilités en cas de dépassement. Même dans les cas d'exposition à plusieurs antennes, le fait que cette limite soit faible garantit une immission cumulée très nettement inférieure à celles préconisées par les instances sanitaires internationales.

A l'exception des cas, prévus au dernier alinéa de l'article 4, de plusieurs antennes installées sur un même support utilisées pour émettre les signaux d'un même réseau dans une zone géographique et sur

lesquels nous revenons ci-dessous, les 2<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> alinéas de cet article sont clairs en ce qui concerne l'absence d'obligation de tenir compte d'un quelconque cumul de l'ensemble des immissions dues aux installations existantes des différents opérateurs et de celles en projet.

Seules les situations prévues au 6<sup>e</sup> alinéa de l'article 4 imposent de tenir compte d'un cumul des immissions de certaines antennes. Ici encore, les commentaires de l'article 4 du décret clarifient la portée de cet alinéa : « *Cette disposition a pour objectif d'éviter la répartition de la puissance d'une antenne de téléphonie mobile d'un opérateur donné dépassant la limite d'immission de 3 V/m sur plusieurs antennes de ce même opérateur.* »

La disposition de ce dernier alinéa de l'article 4 résulte de l'intention du législateur d'empêcher que la puissance ne soit répartie sur plusieurs antennes lorsque la limite d'immission fixée pour une antenne est dépassée, ce qui, bien sûr, serait contraire à l'esprit du décret. Elle implique de cumuler les immissions des antennes installées sur un même support utilisées pour émettre les signaux d'un même réseau dans une zone géographique et de leur appliquer la limite de 3 V/m.

## A2. Méthode d'examen

Les conclusions des avis visés à l'article 5 du décret reposent sur des simulations effectuées au moyen de modèles mathématiques selon une méthode brièvement décrite ci-dessous. L'exposé détaillé de la méthode de calcul appliquée est disponible dans [1].

L'exposition des personnes aux rayonnements d'antennes peut généralement être traitée au moyen du modèle de propagation en espace libre et en tenant compte de la présence éventuelle d'obstacles. Ce modèle est le plus souvent cité dans la littérature scientifique ou dans les documents relatifs aux normes<sup>1</sup> d'exposition. Il repose sur les relations mathématiques dites « formules du champ éloigné ». Elles fournissent l'intensité des composantes électrique et magnétique du champ et traduisent notamment le fait que ces deux composantes, en l'absence d'obstacles, sont inversement proportionnelles à la distance. Les formules du champ éloigné permettent de traiter la majorité des cas visés par la législation wallonne vu le fait que leurs conditions de validité sont rencontrées dans les zones où la limite fixée par le décret doit être respectée (lieux de séjour).

A partir d'une distance de l'antenne de l'ordre de la longueur d'onde, les composantes électrique et magnétique sont en outre liées par la relation de proportionnalité

$$\frac{E}{H} = Z \quad (\text{A2.1})$$

dans laquelle  $Z$  est l'impédance caractéristique du milieu où l'onde se propage. Elle est égale à  $377 \, \Omega$  dans l'air ainsi que dans le vide.

Il en résulte que, dans les lieux de séjour, l'intensité du rayonnement produit par une antenne peut être déterminée au moyen de la relation

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{30 P \times G}{A(\phi, \theta)}} \quad (\text{A2.2})$$

<sup>1</sup> Ce modèle est, notamment, celui imposé en Suisse (Ordonnance sur la Protection contre le Rayonnement Non Ionisant - ORNI) et au Grand-Duché de Luxembourg (Conditions d'exploitation pour les émetteurs d'ondes électromagnétiques à haute fréquence - référence ITM-CL 179.4). Ce modèle était également celui utilisé par l'IBPT lorsque l'exposition aux rayonnements radiofréquences était régie par l'A.R. du 29 avril 2001 ou par celui du 10 août 2005.

dans laquelle :

- P : puissance rayonnée par l'antenne (en W). Il s'agit de la puissance émise lorsque l'installation fonctionne à pleine charge
- G : gain de l'antenne, par rapport à une antenne isotrope, dans la direction où l'intensité du rayonnement est maximale (nombre sans dimension)
- $A(\phi, \theta)$  : perte de puissance dans la direction considérée par rapport à la direction où l'intensité du rayonnement est maximale (nombre sans dimension). Il est déduit des diagrammes de rayonnement horizontal et vertical de l'antenne
- $\theta$  : angle d'élévation (en degrés)
- $\phi$  : angle formé avec l'azimut de référence, lequel correspond en principe à la direction dans laquelle le gain est maximum (en degrés)
- d : distance par rapport à l'antenne (en m)

Le gain d'une antenne est généralement exprimé en décibels, ou plus exactement en dBi (la lettre i signalant que le gain se réfère à l'antenne isotrope), tandis que G représente le gain linéaire (un nombre sans dimension) dans la relation (A2.2). Par convention, une majuscule est utilisée pour le gain linéaire et une minuscule<sup>2</sup> lorsqu'il est exprimé en dBi. Ces deux manières d'exprimer le gain sont liées entre elles par les relations suivantes :

$$g = 10 \log G \quad (A2.3)$$

$$G = 10^{0,1g} \quad (A2.4)$$

Comme mentionné plus haut, le terme  $A(\phi, \theta)$  est déduit des diagrammes de rayonnement. Ces diagrammes, généralement au nombre de deux, caractérisent l'effet directionnel d'une antenne (intensité du rayonnement en fonction de la direction considérée). Le diagramme horizontal  $A_H(\phi)$  indique la perte de puissance dans les différentes directions du plan horizontal ( $\theta = 0$ ) tandis que le diagramme vertical  $A_V(\theta)$  fournit la perte de puissance dans les différentes directions du plan vertical ( $\phi = 0$ ). Le coefficient de perte de puissance  $A(\phi, \theta)$  dans la direction  $(\phi, \theta)$  peut être déduit des diagrammes de rayonnement  $A_H(\phi)$  et  $A_V(\theta)$  puisque

$$A(\phi, \theta) = A_H(\phi) \times A_V(\theta) \quad (A2.5)$$

Il est généralement tenu compte d'une atténuation d'obstacle de 3 dB (ce qui correspond à une réduction du champ de 30 %) pour les lieux de séjour à l'intérieur des bâtiments. Cette valeur de 3 dB permet d'éviter toute sous-estimation par rapport aux champs réels, l'atténuation due à l'enveloppe des bâtiments étant généralement plus élevée : en particulier, l'atténuation dépasse en principe 10 dB (soit une réduction du champ de 68 %) lorsque le rayonnement traverse le toit en béton d'un immeuble. Pour cette raison, une valeur d'atténuation de 10 dB peut être utilisée pour les lieux de séjour éventuels situés sous des antennes lorsque celles-ci sont installées sur le toit en béton d'un bâtiment. L'exception peut également s'appliquer aux bâtiments contigus dont le toit, également en béton, se situe à une hauteur inférieure ou égale à celle du toit du bâtiment voisin supportant les antennes. Le

<sup>2</sup> Signalons que la convention inverse est parfois adoptée dans certaines publications.

cas échéant, l'atténuation utilisée pour les calculs du champ électromagnétique peut être supérieure à celle éventuellement indiquée dans la demande de l'exploitant.

Lorsque, selon le dernier alinéa de l'article 4 du décret, un ensemble d'antennes doit être considéré comme n'en formant qu'une seule, il y a lieu de cumuler les contributions des différentes antennes faisant partie de l'ensemble. Le champ total est fourni par la relation

$$E_{\text{total}} = \sqrt{\sum_i E_i^2} \quad (\text{A2.6})$$

dans laquelle le symbole  $\Sigma$  indique une sommation des différentes contributions  $E_i$ .

### **A3. Remarques concernant la précision de la méthode d'examen**

La relation mathématique A2.2 modélise la propagation du rayonnement émis par les antennes. Les phénomènes qui affectent cette propagation sont toutefois d'une telle complexité que leur prise en compte n'est possible que moyennant quelques simplifications. Quelles que soient les simplifications envisagées, on doit toutefois veiller à ce que l'immission ainsi calculée ne soit jamais inférieure à la valeur réelle (c'est-à-dire celle qui pourrait être mesurée sur le terrain).

En outre, certaines données techniques peuvent comporter une marge d'erreur non négligeable, d'où une incertitude sur le résultat. Les principales sources d'erreurs ou d'imprécisions sont commentées ci-dessous. Signalons que cette question est davantage développée dans [1].

#### **a) Atténuation d'enveloppe**

L'atténuation du rayonnement que produisent l'enveloppe des bâtiments et les obstacles en général est le paramètre pour lequel l'incertitude est, de loin, la plus grande. Cette atténuation est souvent importante puisque le champ peut être réduit de plusieurs dizaines de pourcents. Elle dépend, entre autres, de la taille et de l'orientation des fenêtres, du type de vitres, de l'épaisseur et de la nature des murs.

La prise en compte d'une atténuation d'enveloppe de 3 dB (pour les lieux de séjour à l'intérieur des bâtiments) garantit, en principe, que l'immission calculée est inférieure à la valeur réelle. Ce choix repose sur le constat, lors de mesures sur le terrain, que l'atténuation réelle est généralement supérieure, voire nettement supérieure à 3 dB. En conséquence, l'immission réelle est en principe inférieure à celle calculée sur base de l'hypothèse d'une atténuation de 3 dB. Adopter de manière systématique une atténuation supérieure à 3 dB serait même défendable dans de nombreuses situations, mais pourrait parfois donner lieu à des sous-estimations, ce qui doit bien sûr être évité.

On mentionnera qu'il n'est pas indispensable qu'un obstacle soit sur le trajet direct du rayonnement pour que l'immission soit réduite. Cette remarque s'applique notamment au cas des fenêtres ouvertes comme exposé au paragraphe 3.4.2 du document [1]. Cette réduction de l'immission s'explique du fait que l'essentiel de la puissance transmise d'un point d'émission à un point de réception se propage dans un certain volume (appelé « premier ellipsoïde de Fresnel ») entourant le trajet direct reliant ces deux points. Les bords inférieur, supérieur et latéraux des fenêtres constituent des éléments qui entravent, du moins partiellement, la propagation du rayonnement, d'où une réduction du niveau d'immission.



b) Erreurs et incertitudes sur certaines données techniques

La plupart des données prises en compte dans les calculs comportent une incertitude, par exemple, les angles d'azimut et d'élévation, les distances et les variations du gain d'antenne en fonction de la fréquence du rayonnement. On notera cependant que la précision sur ces différents paramètres est meilleure que celle relative à l'atténuation d'enveloppe.

On rappellera par ailleurs que la limite d'immission fixée à l'article 4 du décret est une moyenne prise sur une période quelconque de 6 minutes. Or, tous les calculs de champ sont basés sur la puissance émise lorsque l'installation fonctionne à pleine charge, situation qui ne se produit que rarement pour la majorité des antennes-relais utilisées dans les réseaux de téléphonie mobile. En principe, l'immission moyenne sur une période quelconque de 6 minutes n'atteint pratiquement jamais celle qui correspond à la pleine charge.

c) Validité du modèle mathématique

Les calculs de champ sont effectués au moyen d'un logiciel développé par l'ISSeP ; ce logiciel détermine l'intensité du champ électromagnétique au moyen de la formule dite « du champ éloigné » qui est le modèle de prédiction préconisé lorsqu'on se trouve à une distance supérieure à  $0,5 D^2/\lambda$ , où  $D$  représente la plus grande dimension (en m) de l'antenne dans la direction perpendiculaire à la direction de propagation du rayonnement (en fait,  $D$  est la plus grande dimension de l'antenne « vue » depuis le point considéré) et  $\lambda$  est la longueur d'onde du signal rayonné.

La distance  $0,5 D^2/\lambda$  doit donc être considérée comme la limite au-delà de laquelle la formule du champ éloigné fournit une bonne précision ; pour la plupart des antennes utilisées en téléphonie mobile, cette distance est comprise entre 2 et 10 m dans la direction horizontale. Dans la direction verticale (c'est-à-dire en dessous) la distance  $0,5 D^2/\lambda$  devient très courte puisque l'antenne y est « vue » sous un angle tel que  $D$  devient très petite. En fait, lorsque l'on se trouve sous l'antenne, la plus grande dimension est sa largeur (environ 20 cm pour la plupart des antennes de téléphonie mobile, d'où,  $0,5 D^2/\lambda$  ne vaut plus que quelques cm). En pratique, les lieux de séjour se trouvent généralement dans la zone où le modèle de prédiction fournit une bonne précision.

En deçà de la distance  $0,5 D^2/\lambda$ , il est couramment admis que la formule du champ éloigné fournit, globalement, une estimation du champ moyen<sup>3</sup> qui est supérieure à la valeur réelle jusqu'à une distance de l'ordre de quelques longueurs d'onde. Notons qu'une surestimation par rapport à la valeur réelle est acceptable puisqu'elle va dans le sens de la sécurité.

En résumé, l'approche consistant à adopter une atténuation d'enveloppe de 3 dB pour les lieux de séjour à l'intérieur (même si l'on considère que les éventuelles fenêtres pourraient être ouvertes) ainsi que la prise en compte de la puissance maximale qui n'est émise que lorsque l'installation fonctionne à pleine charge (ce qui est rare) va dans le sens d'une surestimation de l'immission qui compense les éventuelles imprécisions sur le gain, les diagrammes de rayonnement, les distances, les angles d'azimut et d'élévation.

Bien que le maximum de précautions soit mis en œuvre pour garantir la fiabilité de la méthode d'examen appliquée dans les avis visés à l'article 5 du décret, il subsiste une incertitude à laquelle l'article 49 du décret programme du 27/10/2011 apporte une réponse<sup>4</sup>. Cet article 49 stipule que la

<sup>3</sup> Champ moyen calculé sur une distance de quelques longueurs d'onde.

<sup>4</sup> Cet article permet également de détecter les dépassements de la limite d'immission qui seraient dus à d'éventuelles différences de caractéristiques entre l'installation projetée et celle qui est effectivement construite.



commune et le fonctionnaire chargé de la surveillance peuvent faire réaliser, au frais de l'exploitant, un contrôle (basé sur des mesures in situ) après la mise en service. En cas de violation de la limite d'immission, l'exploitant doit mettre son installation en conformité au plus tard dans les soixante jours à dater de la réception du rapport de contrôle.

### Référence

- [1] « Méthode de calcul des immissions dans le cadre du décret wallon relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants » (disponible à l'adresse [www.issep.be](http://www.issep.be) ou sur simple demande)



Institut scientifique  
de service public

Métrologie environnementale  
Recherche – Analyses  
Essais – Expertises

**Siège social et site de Liège :**  
Rue du Chéra, 200  
B-4000 Liège  
Tél : +32(0)4 229 83 11  
Fax : +32(0)4 252 46 65  
**Site web :** <http://www.issep.be>

**Site de Colfontaine :**  
Zoning A. Schweitzer  
Rue de la Platinerie  
B-7340 Colfontaine  
Tél : +32(0)65 61 08 11  
Fax : +32(0)65 61 08 08

Lüttich, den 12. September 2016.

**ANHANG**  
**DES GUTACHTENS BEZÜGLICH DES SCHUTZES GEGEN**  
**MÖGLICHE GESUNDHEITSSCHÄDLICHE UND BELASTENDE**  
**AUSWIRKUNGEN DER NICHT IONISIERENDEN STRAHLUNGEN,**  
**DIE VON STATIONÄREN SENDEANTENNEN ERZEUGT WERDEN**

Fassung 3.3.1.

## **A1. Dekret vom 3. April 2009 bezüglich des Schutzes gegen mögliche gesundheitsschädliche und belastende Auswirkungen der nicht ionisierenden Strahlungen, die von stationären Sendeantennen erzeugt werden**

In der Wallonie fallen die elektromagnetischen Strahlungen im Radiofrequenzbereich (100 kHz bis 300 GHz) unter das Dekret vom 3. April 2009 (M.B. vom 6.5.2009) bezüglich des Schutzes gegen mögliche gesundheitsschädliche und belastende Auswirkungen der nicht ionisierenden Strahlungen, die von stationären Sendeantennen erzeugt werden. Im Folgenden wird dieses Dokument „das Dekret“ genannt.

Artikel 4 des Dekrets legt fest, dass in Aufenthaltsräumen die elektrische Feldstärke, die von einer beliebigen stationären Sendeantenne ausgeht, nicht den Immissionsgrenzwert von 3V/m übersteigen darf. Dieser Immissionsgrenzwert ist ein durchschnittlicher Effektivwert, der innerhalb eines Messzeitraums von 6 Minuten und auf einer horizontalen Oberfläche mit den Maßen 0,5x0,5 m<sup>2</sup> je Antenne berechnet und gemessen wird.

Das Dekret legt darüber hinaus Folgendes fest:

- Die elektrische Feldstärke in Aufenthaltsräumen muss auf folgenden Höhen berechnet und gemessen werden:
  - In Wohnräumen: 1,50m über dem Fußbodenniveau
  - In anderen Räumen: 1,50m über dem Fußbodenniveau
- Der Immissionsgrenzwert gilt für alle stationären Sendeantennen, ohne dass elektromagnetische Strahlung, die von anderen möglicherweise vorhandenen Strahlungsquellen ausgeht, mit einbezogen wird.
- So genannte Multiband-Antennen, die darauf ausgelegt sind, dass sie die Signale von N Netzen simultan ausstrahlen, gelten als N einzelne Antennen.
- Wenn mehrere, auf ein und derselben Halterung befestigte Antennen für die Ausstrahlung der Signale ein und desselben Netzwerkes in eine geographische Zone verwendet werden, gelten sie zusammen als eine Antenne.

Gemäß Artikel 2 des Dekrets gelten die folgenden Begriffsbestimmungen:

- Stationäre Sendeantenne: Element, das auf dauerhafte Weise an einer ortsfesten Halterung angebracht ist und eine elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 300 GHz erzeugt, wobei die maximale äquivalente isotrope Strahlungsleistung 4W überschreitet. Dieses Element stellt eine Schnittstelle zwischen den über ein Kabel oder einen Wellenleiter eingespeisten Hochfrequenzsignalen und dem freien Raum dar und wird für die Übertragung von Telekommunikationssignalen verwendet;
- Aufenthaltsräume: Die Räumlichkeiten in einem Gebäude, in denen sich Personen regelmäßig aufhalten oder aufhalten können, wie Wohnräume, Schulen, Kinderkrippen, Krankenhäuser, Altenheime, Räume, in denen sich Arbeitskräfte regelmäßig aufhalten, Flächen, die zum regelmäßigen Ausüben von Sport und zum Spielen bestimmt sind, mit Ausnahme insbesondere der Verkehrswege, Bürgersteige, Parkplätze, Abstellplätze für Fahrzeuge, Parkanlagen, Gärten, Balkone, Terrassen;
- Äquivalente isotrope Strahlungsleistung (engl. *equivalent isotropically radiated power*, EIRP): Das EIRP ist das Produkt der in eine Sendeantenne eingespeisten Leistung multipliziert mit deren Antennengewinn (Wert für die Hauptstrahlrichtung der Sendeantenne, relativ zu einem Isotropstrahler, in der gleichzeitig ihr Antennengewinn am größten ist).

**Anmerkung:** Die Kommentare zu den Artikeln des Dekrets<sup>1</sup> (siehe Vermerk Dok. Wall. Parl., 2008-2009, Nr. 941/1, S. 3-5, insb. S. 4) erläutern die Gründe, aus denen der Gesetzgeber einen niedrigen Immissionsgrenzwert je Antenne einem globalen Immissionsgrenzwert vorzieht. Letzteres hätte nämlich bedeutet, dass man für Zonen, in denen sich die Strahlungsfelder mehrerer Antennen überlappen, diese Häufung in Betracht ziehen müsste.

In den Kommentaren, die sich auf Artikel 4 beziehen, ist zu lesen: « Ein globaler Immissionsgrenzwert, der ein sehr breites Frequenzband abdecken würde (von 100 kHz bis 300 GHz) ist nicht überprüfbar. Aus diesem Grunde werden die von sonstigen Quellen generierten Feldstärken bei der Messung und Berechnung der elektrischen Feldstärke jeder stationären Sendeantenne, deren maximale äquivalente isotrope Strahlungsleistung 4W überschreitet, nicht in Betracht gezogen. Falls es häufiger zur Exposition durch mehrere Strahlungsquellen kommt, kann demzufolge eine Überschreitung der maximalen Feldstärke daraus resultieren, dass eine Antenne zusätzlich installiert wurde, bzw. eine schon vorhandene, die ggf. auf einem anderen Unterbau befestigt ist, verändert wurde (z.B. durch eine veränderte Neigung des Strahlungsbündels). Dies gilt auch bei geringfügigen Veränderungen. Eine Kontrolle erweist sich unter praktischen Gesichtspunkten und bei derartigen Voraussetzungen allerdings sowohl von vornherein als auch im Nachhinein als unmöglich. Gleichzeitig kann auch der Verursacher der Überschreitung der Grenzwerte nicht ermittelt werden. Um diese Probleme zu vermeiden, ist es angezeigt, den Immissionsgrenzwert für ein klar zu definierendes Objekt festzulegen. » (*Freie Übersetzung*)

Wir stellen fest, dass sich der Gesetzgeber überdies damit befasst hat, wie hoch die gesamte Feldstärke im Falle einer Exposition durch mehrere, sich überschneidende Strahlungsbereiche sein könnte. Hierzu die Kommentare zu Artikel 4 : « Eine legitime Frage ist, welches Gesamtniveau die Immission erreichen kann, wenn sich die Strahlungen mehrerer Antennen überlappen, deren einzelne Feldstärke jeweils niemals mehr als 3 V/m beträgt [...] Wenn diesen Besonderheiten Rechnung getragen wird, garantiert also eine Festlegung des Immissionsgrenzwertes auf 3 V/m je Antenne, dass der Gesamtdurchschnittswert von Immissionen, über beispielsweise einen Zeitraum von 24 Stunden gemessen, selbst in Aufenthaltsräumen, die im Strahlungsbereich mehrerer Antennen liegen, kaum mehr als einige V/m beträgt [...]. In allen Fällen bleibt die gesamte Feldstärke in Relation zu den empfohlenen Grenzwerten der ICNIRP, die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) befürwortet werden, sehr schwach. Diese Grenzwerte wurden für die Mehrheit der nationalen Normen (Deutschland, Österreich, Frankreich, Spanien, Portugal, Niederlande, Großbritannien, Schweden, USA, Japan, Kanada,...) sowie in der Empfehlung des Rates der Europäischen Union (1999) übernommen. Die von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerte liegen zwischen 87 et 28 V/m je nach Frequenz. Der von der Frequenz unabhängige Immissionsgrenzwert von 3 V/m je Antenne liegt demzufolge zwischen 87 (28/3 zum Quadrat) und 841 (87/3 zum Quadrat) niedriger, als von der ICNIRP und der WHO empfohlen. Daraus können wir schließen, dass die Festlegung des Immissionsgrenzwertes auf 3 V/m je Antenne, verglichen mit den Empfehlungen der internationalen Gesundheitsorganisationen, eine im Durchschnitt niedrige kumulierte Gesamtfeldstärke garantiert. » (*Freie Übersetzung*)

Die kumulierten Auswirkungen von verschiedenen kontrollierbaren Emissionsquellen wurden bei der vorgehenden Analyse durch Anwendung der Immissionsnorm von Artikel 4 des Dekrets berücksichtigt.

---

<sup>1</sup> Dekret vom 3.4.2009 – Kommentare zu den Artikeln - Dokument 941 (2008-2009) — Nr. 1 – WALLONISCHES PARLAMENT – SITZUNG 2008-2009 – 4. März 2009 –Seiten 3 bis 5

Wie die Kommentare zu Artikel 4 des vorgenannten Dekrets belegen, hat sich der wallonische Gesetzgeber im besagten Artikel 4 nicht darauf beschränkt, ohne weitere Überlegungen jedem Antenne eine Immissionsnorm von 3 V/m festzulegen: aufgrund von verfügbaren Elementen und durchgeführten insbesondere französischen Analysen vertrat er nämlich den Standpunkt, dass die Auferlegung einer Immissionsnorm von 3 V/m pro Antenne geeignet ist, um eine extrem niedrige Gesamtfeldstärke im Hinblick auf die von der ICNIRP empfohlenen und von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) befürworteten Grenzwerte zu garantieren.

Mit anderen Worten: die Immissionsnorm von Artikel 4 des Dekrets entspricht einer Bewertung der höchstzulässigen Gesamtfeldstärke.

Im Rahmen parlamentarischer Erörterungen wurde festgestellt, dass es in Bezug auf die Frage einer Kumulierung der Strahlungswerte mehrerer Antennen eine Reihe von Umständen gibt, die in Betrachtung gezogen werden müssen:

- Wenn mehrere Antennen in einer bestimmten Zone (auf ein und demselben Unterbau oder auf verschiedenen Unterbauten) installiert sind, ist es sehr unwahrscheinlich, dass alle Antennen ihre jeweils maximale Strahlung an derselben Stelle entfalten. Die Antennen sind selten in dieselbe Richtung ausgerichtet (sowohl in Bezug auf den Azimut als auch auf das Höhenmaß) und besitzen unterschiedliche Eigenschaften;
- In bestimmten Anwendungsbereichen verändert sich die Strahlungsstärke im Laufe der Zeit. Dieser Fall gilt bei Antennen, die im Mobilfunknetz eingesetzt werden. Deren Maximalleistung wird nur sehr selten erreicht. Da der Nachweis einer Einhaltung der Immissionsgrenzwerte auf der Maximalleistung beruht, wird die Feldstärke während der meisten Zeit niedriger liegen, als der so ermittelte Wert. Wenn es zu einer Exposition durch die Strahlung mehrerer Antennen kommt, ist die Wahrscheinlichkeit sehr niedrig, dass alle Antennen gleichzeitig ihre maximale Leistung fahren. Der maximale Wert der kumulierten Strahlungswerte eines derartigen Antennen-Ensembles wird in jedem Falle deutlich niedriger liegen, als die Summe der maximalen Strahlungswerte der jeweils einzelnen Antennen;
- Es muss überdies darauf hingewiesen werden, dass bestimmte Antennen nur in sehr kurzen Zeitabschnitten überhaupt eine Sendeleistung haben, d.h. die meiste Zeit weisen diese Antennen keine Feldstärke auf. Ausserdem liegt bei zahlreichen Antennen die Feldstärke in einem Bereich, der im Vergleich zu 3 V/m vernachlässigbar ist. Dies gilt für Antennen mit schwacher Sendeleistung, die deutlich höher installiert sind, als Wohnbereiche liegen. Zu einer Häufung der Immissionswerte tragen derartige Antennen generell nur in einem zu vernachlässigenden Bereich bei;
- Richtantennen, wie sie z.B. in den Mobilfunknetzen eingesetzt werden (GSM, UMTS, LTE, ...) sind generell in einem Dreier-Ensemble installiert und strahlen jeweils ausschließlich in einem Sektor von annähernd 120°. Das Feld, das von diesen Antennen ausserhalb des Sektors produziert wird, ist schwach bzw. vernachlässigbar;
- Die Feldstärke ist umgekehrt proportional zur Entfernung zwischen der Antenne und dem in Rede stehenden Punkt. Im Falle der Mobilfunknetze sind nicht einmal die stärksten Antennen in der Lage, über eine Distanz von 500 m mehr als 1 V/m zu produzieren. Anders ausgedrückt: 1 V/m entspricht nicht mehr als 1/784 Mal (d.h.  $1^2/28^2$ ) des schwächsten, von der ICNIRP empfohlenen Grenzwertes. Bezüglich der Frage nach einer Kumulierung der Strahlung folgt hieraus, dass die Auswirkungen dieser Antennen vernachlässigt werden können, wenn sie sich einige Hundert Meter vom in Rede stehenden Punkt entfernt befinden.

Wie übrigens in den Kommentaren zu Artikel 4, variiert der von der ICNIRP und der WHO vorgegebene Immissionsgrenzwert zwischen 28 und 87 V/m in Abhängigkeit von der Frequenz. Wenn wir von dem niedrigeren Grenzwert ausgehen, d.h. von 28 V/m, folgt daraus, dass mindestens 87 Antennen (28/3 im Quadrat), die jeweils an einem bestimmten Punkt 3 V/m produzieren, benötigt werden, um diesen Grenzwert zu erreichen. Für den Fall, dass es sich um Antennen der Mobilfunknetze handelt, beträgt der von der ICNIRP und der WHO vorgegebene Immissionsgrenzwert zwischen 38,7 und 61 V/m. In diesem Fall würden also nicht 87, sondern mindestens 166 Antennen (38,7/3 im Quadrat) benötigt werden. In der Praxis und angesichts der Überlegungen, die wir in den oben angegebenen Punkten 1 bis 5 angestellt haben, kann Folgendes festgestellt werden : Wenn alle in einem Umkreis von einigen hundert Metern rund um die in Rede stehenden Aufenthaltsräume installierten Antennen in diesem Bereich eine Feldstärke produzierten, die unter oder gleich 3 V/m beträgt, dann werden mehrere Hundert Antennen benötigt, um eine Gesamtfeldstärke zu erreichen, die eventuell den von der ICNIRP und in der Empfehlung 1999/519/CE zurückgenommen vorgegebenen Immissionsgrenzwert überschreiten könnte. Dieser Fall ist rein theoretisch und kann völlig ausgeschlossen werden.

Abschließend erleichtert die Festsetzung eines Immissionsgrenzwertes je Antenne sowohl von vornherein als auch im Nachhinein eine Kontrolle der Grenzwerte. Demzufolge kann auch eine Überschreitung der Grenzwerte den jeweiligen Verursachern zugeordnet werden. Selbst in den Fällen einer Exposition durch mehrere Antennen garantiert dieser niedrige Grenzwert, dass eine kumulierte Immission deutlich unter den von den internationalen Gesundheitsorganisationen empfohlenen Werten liegt.

Mit Ausnahme der im letzten Absatz von Artikel 4 vorgesehenen Fälle, wenn mehrere, auf ein und derselben Halterung befestigte Antennen für die Ausstrahlung der Signale ein und desselben Netzwerkes in eine geographische Zone verwendet werden und auf die wir weiter unten eingehen werden, geht aus den Absätzen 2 und 4 dieses Artikels eindeutig hervor, dass es keinerlei Verpflichtung zur Berücksichtigung einer Häufung der Gesamtmissionen der vorhandenen Anlagen der verschiedenen Betreiber und der geplanten Anlagen gibt.

Nur die im 6. Absatz des Artikels 4 vorgesehenen Situationen schreiben vor, einer Häufung der Immissionen bestimmter Antennen Rechnung zu tragen. Auch hier helfen die Kommentare zum Artikel 4 des Dekrets, die Tragweite dieses Absatzes zu verstehen:« Diese Verfügung zielt darauf ab, eine Aufteilung der Leistung einer Mobilfunkantenne eines bestimmten Anbieters, deren Immissionsgrenzwert 3 V/m übersteigt, auf mehrere Antennen desselben Anbieters zu verhindern. »  
(Freie Übersetzung)

Die Verfügung des letztgenannten Absatzes des Artikels 4 wurde vom Gesetzgeber aufgenommen, um zu vermeiden, dass die Sendeleistung auf mehrere Antennen verteilt wird, wenn der für eine bestimmte Antenne festgelegte Immissionsgrenzwert überstiegen wird. Dies würde verständlicherweise dem Geist des Dekrets widersprechen. Die Verfügung sieht vor, die Immissionen der auf demselben Unterbau installierten Antennen, die in einer bestimmten geografischen Zone Signale über dasselbe Netz aussenden, zusammenzufassen und diesen Antennen einen gemeinsamen Grenzwert von 3 V/m vorzuschreiben.

## **A2. Prüfmethode**

Die Schlussfolgerungen der gemäß Artikel 5 des Dekrets erstellten Gutachten basieren auf Simulationen, die unter Verwendung mathematischer Modelle entsprechend einer nachstehend kurz



beschriebenen Methode durchgeführt werden. Die detaillierte Erläuterung der angewendeten Berechnungsmethode finden Sie in [1].

Die personenbezogene Exposition gegenüber Antennenstrahlung kann in der Regel anhand des Ausbreitungsmodells im freien Raum und unter Berücksichtigung eventuell vorhandener Hindernisse angegangen werden. Dieses Modell wird in der wissenschaftlichen Literatur oder in Dokumenten bezüglich der Expositionsnormen<sup>2</sup> am häufigsten angeführt. Es beruht auf den „Fernfeldformeln“ genannten mathematischen Beziehungen. Sie geben Aufschluss über die Stärke der elektrischen und der magnetischen Komponente und veranschaulichen die Tatsache, dass beide Komponenten in Abwesenheit von Hindernissen umgekehrt proportional zum Abstand sind. Die Fernfeldformeln können auf die Mehrheit der in der wallonischen Gesetzgebung genannten Fälle angewendet werden, da ihre Gültigkeitsbedingungen in den Zonen, in denen der durch das Dekret festgelegte Grenzwert eingehalten werden muss (Aufenthaltsräume), erfüllt sind.

Ab einem Antennenabstand in der Größenordnung der Wellenlänge sind die elektrische und die magnetische Komponente überdies proportional zueinander

$$\frac{E}{H} = Z \quad (A2.1)$$

wobei Z der Wellenwiderstand des Mediums ist, durch das sich die Welle ausbreitet. Er beträgt 377 Ω in der Luft und im Vakuum.

Folglich kann die von einer Antenne erzeugte Strahlungsstärke in Aufenthaltsräumen anhand folgender Beziehung bestimmt werden

$$E = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{30 P \times G}{A(\phi, \theta)}} \quad (A2.2)$$

wobei:

P : Strahlungsstärke der Antenne (in W). Dies ist die Sendeleistung bei voller Auslastung der Anlage.

G : Antennengewinn, bezogen auf einen Isotropstrahler, in die Richtung mit der höchsten Strahlungsstärke (dimensionslose Größe).

A(φ,θ) : Leistungsverlust in der betrachteten Richtung, bezogen auf die Richtung mit der höchsten Strahlungsstärke (dimensionslose Größe). Er wird vom horizontalen und vom vertikalen Strahlungsdiagramm der Antenne abgezogen.

θ : Höhenwinkel (in Grad)

φ : mit dem Referenz-Azimut gebildeter Winkel, der in der Regel der Richtung mit dem größten Gewinn entspricht (in Grad)

d : Abstand zur Antenne (in m)

Der Antennengewinn wird in der Regel in Dezibel angegeben, oder genauer gesagt in dBi (wobei der Buchstabe „i“ darauf hinweist, dass sich der Gewinn auf den Isotropstrahler bezieht), während „G“

<sup>2</sup> Dieses Modell wird insbesondere auferlegt in der Schweiz (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung - NISV) und im Großherzogtum Luxemburg (Betriebsbedingungen für Sender von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen - Referenz ITM-CL 179.4). Dieses Modell wurde auch vom IBPT angewendet, wenn die Exposition gegenüber Radiofrequenzstrahlungen unter den Königlichen Erlass vom 29. April 2001 oder vom 10. August 2005 fiel.

den linearen Gewinn (dimensionslose Größe) in der Beziehung darstellt (A2.2). Vereinbarungsgemäß wird ein Großbuchstabe für den linearen Gewinn verwendet und ein Kleinbuchstabe<sup>3</sup>, wenn er in dBi angegeben ist. Zwischen diesen beiden Arten der Gewinnangabe besteht folgende Beziehung:

$$g = 10 \log G \quad (\text{A2.3})$$

$$G = 10^{0,1g} \quad (\text{A2.4})$$

Wie weiter oben erwähnt, wird der Begriff  $A(\phi, \theta)$  von den Strahlungsdiagrammen abgeleitet. Diese Diagramme (in der Regel zwei) kennzeichnen die Richtwirkung einer Antenne (Strahlungsstärke je nach Richtung). Das horizontale Diagramm  $A_H(\phi)$  gibt den Leistungsverlust in den verschiedenen Richtungen der horizontalen Ebene an ( $\theta = 0$ ), während das vertikale Diagramm  $A_V(\theta)$  den Leistungsverlust in den verschiedenen Richtungen der vertikalen Ebene angibt ( $\phi = 0$ ). Der Leistungsverlustkoeffizient  $A(\phi, \theta)$  in der Richtung  $(\phi, \theta)$  lässt sich aus den Strahlungsdiagrammen  $A_H(\phi)$  und  $A_V(\theta)$  ableiten, denn

$$A(\phi, \theta) = A_H(\phi) \times A_V(\theta) \quad (\text{A2.5})$$

In der Regel wird für Aufenthaltsräume im Inneren von Gebäuden eine Dämpfung durch Hindernisse von 3 dB berücksichtigt (was einer Feldstärkenreduzierung um 30 % entspricht). Mit diesem Wert von 3 dB kann eine eventuelle Unterschätzung im Vergleich zu den realen Feldstärken vermieden werden, da die Dämpfung, die sich aufgrund einer Gebäudehülle ergibt, im Allgemeinen höher ist: die Dämpfung überschreitet in der Regel 10 dB (was einer Feldstärkenreduzierung um 68 % entspricht), wenn die Strahlung das Betondach eines Gebäudes durchdringt. Aus diesem Grund kann ein Dämpfungswert von 10 dB für eventuelle Aufenthaltsräume angewandt werden, die sich unter Antennen befinden, die auf dem Betondach eines Gebäudes installiert sind. Die Ausnahme kann auch auf angrenzende Gebäude zutreffen, deren Betondach auf gleicher Höhe oder tiefer liegt als das Betondach des Gebäudes, auf dem die Antennen installiert sind. Gegebenenfalls kann die für die Berechnung der Feldstärke benutzte Dämpfung über der eventuell im Antrag des Betreibers vermerkten Dämpfung liegen.

Wenn entsprechend dem letzten Abschnitt von Artikel 4 des Dekrets eine Antenneneinheit als eine einzige Antenne angesehen werden muss, werden die Beiträge der verschiedenen Antennen dieser Einheit gehäuft. Das Gesamtfeld ergibt sich durch die Beziehung

$$E_{\text{total}} = \sqrt{\sum_i E_i^2} \quad (\text{A2.6})$$

wobei das Symbol  $\Sigma$  eine Summierung der verschiedenen Beiträge  $E_i$  angibt.

### **A3. Anmerkungen bezüglich der Präzision der Prüfmethode**

Die mathematische Beziehung A2.2 modelliert die Ausbreitung der von Antennen erzeugten Strahlung. Die Phänomene, die diese Ausbreitung beeinflussen, sind jedoch so komplex, dass sie nur mittels einiger Vereinfachungen berücksichtigt werden können. Ungeachtet der in Betracht gezogenen Vereinfachungen ist darauf zu achten, dass die auf diese Weise berechnete Immission nie unter dem tatsächlichen Wert (d.h. jenem, der vor Ort gemessen werden könnte) liegt.

<sup>3</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass gewisse Veröffentlichungen von der umgekehrten Konvention ausgehen.

Überdies können gewisse technische Angaben einen beachtlichen Fehlerbereich beinhalten, der eine Ungewissheit in Bezug auf die Isowert-Kurven zur Folge hat. Die wichtigsten Ungenauigkeits- oder Fehlerquellen werden nachstehend erläutert. Auf diesen Aspekt wird näher in [1] eingegangen.

a) Durch die Gebäudehülle bedingte Dämpfung

Die Dämpfung der Strahlung durch Gebäudehüllen und Hindernisse im Allgemeinen ist der Parameter mit der größten Unsicherheit. Diese Dämpfung ist meist beachtlich, denn die Feldstärke kann um mehrere Dutzend Prozent abnehmen. Sie hängt unter anderem von der Größe und der Ausrichtung der Fenster, der Art der Fensterscheiben, der Stärke und der Art der Mauern ab.

Die Berücksichtigung einer durch die Gebäudehülle bedingten Dämpfung von 3 dB (für Aufenthaltsräume in Gebäuden) stellt in der Regel sicher, dass die berechnete Immission unter dem tatsächlichen Wert liegt. Diese Wahl stützt sich auf die Feststellung von Feldmessungen, dass die tatsächliche Dämpfung in der Regel (viel) mehr als 3 dB beträgt. Folglich liegt die tatsächliche Immission in der Regel unter jener, die aufgrund einer angenommenen Dämpfung von 3 dB berechnet wurde. In vielen Fällen ließe sich die systematische Annahme einer Dämpfung von über 3 dB vertreten. Aber diese könnte in einigen Fällen zu Unterschätzungen führen, was natürlich zu vermeiden ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass ein Hindernis sich nicht auf dem direkten Strahlungsweg befinden muss, um eine Immissionsreduzierung zu bewirken. Diese Bemerkung trifft insbesondere auf offene Fenster zu, wie in Absatz 3.4.2 des in Dokument [1]. Diese Immissionsreduzierung lässt sich durch die Tatsache erklären, dass sich der Großteil der von einem Sendepunkt zu einem Empfangspunkt ausgestrahlten Leistung in einem bestimmten Volumen (dem sogenannten „ersten Fresnel-Ellipsoid“) ausbreitet, das den direkten Weg zwischen diesen beiden Punkten umgibt. Die unteren, oberen und seitlichen Ränder der Fenster stellen Elemente dar, die zumindest teilweise die Ausbreitung der Strahlung behindern, was eine Reduzierung der Immissionswerte zur Folge hat.

b) Fehler und Ungenauigkeiten bei gewissen technischen Angaben

Die meisten der bei den Berechnungen berücksichtigten Angaben beinhalten eine Ungewissheit, so zum Beispiel die Azimut- und Höhenwinkel, die Entfernungen und die Schwankungen des Antennengewinns je nach Strahlungsfrequenz. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Präzision dieser verschiedenen Parameter weit über der Präzision in Bezug auf die durch die Gebäudehülle bedingte Dämpfung liegt.

Es wird überdies daran erinnert, dass der von Artikel 4 des Dekrets festgelegte Immissionsgrenzwert ein durchschnittlicher Wert für einen Zeitraum von 6 Minuten ist. Aber alle Berechnungen der Feldstärke stützen sich auf die Sendeleistung der Anlage bei voller Auslastung. Dies ist bei den meisten in Mobilfunknetzen verwendeten Antennen nur selten der Fall. In der Regel liegt die durchschnittliche Immission für einen Zeitraum von 6 Minuten fast immer unter jener bei voller Auslastung.

c) Gültigkeit des mathematischen Modells

Die Feldstärken werden anhand einer von ISSEP entwickelten Software berechnet. Diese Software bestimmt die elektrische Feldstärke mit der sog. „Fernfeldformel“, dem empfohlenen Prädiktionsmodell bei einem Abstand über  $0,5 D^2/\lambda$ , wobei D die größte Abmessung (in m) der

Antenne senkrecht zur Strahlungsrichtung (eigentlich ist  $D$  die größte Abmessung der Antenne vom betrachteten Punkt aus "gesehen") und  $\lambda$  die Wellenlänge des abgestrahlten Signals ist.

Der Abstand von  $0,5 D^2/\lambda$  ist daher als Grenze zu betrachten, außerhalb deren die Fernfeldformel eine gute Genauigkeit bietet. Bei den meisten für den Mobilfunk verwendeten Antennen liegt dieser Abstand zwischen 2 und 10 m in der horizontalen Richtung. In der vertikalen Richtung (d.h. nach unten) wird der Abstand von  $0,5 D^2/\lambda$  sehr kurz, da die Antenne dabei in einem Winkel "gesehen" wird, bei dem  $D$  sehr klein wird. Tatsächlich ist, wenn man sich unterhalb der Antenne befindet, die größte Abmessung ihre Breite (ca. 20 cm bei den meisten Mobilfunkantennen, so dass  $0,5 D^2/\lambda$  nur einige cm ausmacht). In der Praxis liegen die Aufenthaltsräume in der Regel in der Zone, in der das Prädiktionsmodell eine gute Präzision erzielt.

Innerhalb des Abstands von  $0,5 D^2/\lambda$  wird gewöhnlich davon ausgegangen, dass die Fernfeldformel insgesamt eine Schätzung der mittleren Feldstärke<sup>4</sup> ergibt, die bis zu einem Abstand in einer Größenordnung von mehreren Wellenlängen über dem tatsächlichen Wert liegt. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Überschätzung im Vergleich zum tatsächlichen Wert akzeptabel ist, da dies die Sicherheit noch erhöht.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Ansatz zur Annahme einer durch die Gebäudehülle bedingten Dämpfung von 3 dB für Aufenthaltsräume in Gebäuden (selbst wenn man berücksichtigt, dass eventuelle Fenster geöffnet sein könnten) sowie die Berücksichtigung der maximalen Leistung, die nur bei voller Auslastung der Anlage erreicht wird (was selten der Fall ist), einer Überschätzung der Immission entspricht, die eventuelle Ungenauigkeiten in Bezug auf Antennengewinn, Strahlungsdiagramme, Entfernungen sowie Azimut- und Höhenwinkel ausgleicht.

Trotz des Höchstmaßes an Vorsichtsmaßnahmen zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit der Prüfmethode, die zur Erstellung der Gutachten gemäß Artikel 5 des Dekrets eingesetzt wird, gibt es eine Ungewissheit, für die Artikel 49 des Programmdekrets vom 27.10.2011 eine Lösung bietet<sup>5</sup>. Dieser Artikel 49 sieht vor, dass die Gemeinde und der mit der Überwachung beauftragte Beamte nach der Inbetriebnahme eine (sich auf Messungen vor Ort stützende) Prüfung auf Kosten des Betreibers durchführen lassen können. Bei Überschreitung der Immissionsgrenze bringt der Betreiber seine Anlage spätestens innerhalb von sechzig Tagen ab dem Eingang des Prüfberichts mit den Auflagen in Übereinstimmung.

## Referenz

- [1] Méthode de calcul des immissions dans le cadre du décret wallon relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants“ (Berechnungsmethode der Immissionen im Rahmen des Dekrets der wallonischen Region über den Schutz gegen mögliche gesundheitsschädliche und belastende Auswirkungen von nicht ionisierenden Strahlungen) (auf der Website [www.issep.be](http://www.issep.be) oder auf Anfrage erhältlich).

<sup>4</sup> Mittlere Feldstärke, berechnet auf einen Abstand von mehreren Wellenlängen.

<sup>5</sup> Dieser Artikel ermöglicht auch die Ermittlung von Überschreitungen der Immissionsgrenze infolge eventueller Abweichungen der Kennzeichen zwischen der geplanten Anlage und der effektiv gebauten Anlage.