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 17 septembre 2013.

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

Commune : OTTIGNIES-LOUVAIN-LA-NEUVE - Exploitant : BELGACOM

Référence exploitant : 10GPM_01

Rapport n° 3749 / 2013

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

ISSeP
Institut scientifique de service public
Métrologie environnementale
Recherche - Analyses
Essais - Expertises

Table des matières.

1. **Préambule** 3
2. **Références du site** 3
3. **Norme appliquée** 3
4. **Antennes faisant l'objet de la demande** 6
5. **Description de la méthode d'examen** 8
6. **Zone où le champ pourrait dépasser la limite d'immission** 11
7. **Occupation du terrain autour des antennes et respect de la limite d'immission** 11
8. **Conclusion** 12

ANNEXE A1 13

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

1. Préambule

Le présent document constitue l'avis visé à l'article 5 du 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 ».

Cet avis concerne l'installation dont l'adresse et les références sont reprises dans le tableau 1 ; il est établi à partir des caractéristiques techniques des antennes et de la description de la zone alentour fournies par l'exploitant. La déclaration étant introduite avant la construction de l'installation (sauf pour celles mises en service avant l'entrée en vigueur du décret), les conclusions du présent avis reposent sur des simulations effectuées au moyen de modèles mathématiques selon une procédure décrite dans le document intitulé : « 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).

2. Références du site

Tableau 1 : Caractéristiques générales

Adresse	**Grand Place 1348 OTTIGNIES-LOUVAIN-LA-NEUVE (Louvain-la-Neuve)**
Type d'implantation	**Bâtiment**
Exploitant	**BELGACOM**
Réf. du site de l'exploitant	**10GPM_01**

3. Norme appliquée

L'article 4 du 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 × 0,5 m², 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 ;

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

- 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 du parlement wallon 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.

Comme l'indiquent les commentaires de l'article 4 de ce décret, le législateur wallon ne s'est pas borné, dans cet article 4, 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 GSM et UMTS, la limite d'immission préconisée par l'ICNIRP et l'OMS est, respectivement de 41 et 61 V/m. Ce n'est donc pas 87 antennes qui seraient nécessaires, mais au moins 187 (41/3 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

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

puisse éventuellement dépasser la limite d'immission recommandée par l'ICNIRP. 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 aliéna de l'article 4, (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^{e} et 4^{e} 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^{e} 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.

4. Antennes faisant l'objet de la demande

L'évaluation concerne toutes les antennes qui émettent un rayonnement électromagnétique dans la gamme de fréquences visée par le décret et qui est comprise entre 100 kHz et 300 GHz.

N.B. :

a) signalons que des antennes réceptrices (parfois identifiées par l'abréviation « Rx » suivie de chiffres ou « GPS ») sont souvent mentionnées dans des documents joints à la déclaration (par exemple pour l'obtention d'un permis d'urbanisme). De telles antennes ne génèrent aucun rayonnement électromagnétique significatif (entre 100 kHz et 300 GHz) et il n'y a donc pas lieu de les prendre en compte ;

b) le présent avis vise les antennes reprises dans le tableau 2. Il s'agit d'antennes émettant un rayonnement à destination d'équipements mobiles tels que par exemple des téléphones portables ou des récepteurs radiophoniques. Lorsque le site comporte également des antennes paraboliques utilisées pour établir des liaisons de type « faisceaux hertziens » dont il résulte des caractéristiques techniques (puissance rayonnée, directivité, orientation, fréquence, ...) que l'immission qu'elles produisent dans les lieux de séjour est négligeable par rapport à la limite de 3 V/m, elles font l'objet d'un avis distinct reposant sur une approche plus simple que la méthode appliquée dans le présent avis. Le paragraphe 4 de cet avis distinct fournit la justification du caractère négligeable de l'immission due à ces antennes paraboliques. L'examen de telles antennes dans un avis distinct ne contrevient pas au dernier alinéa de l'article 4 du décret pour plusieurs raisons :

- *le rayonnement de ces antennes paraboliques est émis à destination d'une installation fixe située à bonne distance. Il est très directif car l'essentiel de l'énergie rayonnée est concentrée dans un cylindre dont le diamètre est comparable à celui de l'antenne et dépasse rarement 1 m. Ce rayonnement est très peu pénétrant et ne peut par conséquent rencontrer aucun obstacle. Toute interruption du faisceau due, par exemple, au passage de personnes, d'animaux ou à la présence d'obstacles suffit pour bloquer la transmission. Il résulte de cette contrainte que le rayonnement de ces antennes n'est jamais dirigé vers un lieu où des*

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

personnes pourraient se trouver, des bâtiments, etc. A contrario, le rayonnement des antennes reprises dans le tableau 2 est orienté vers les zones où les personnes utilisant des équipements mobiles sont susceptibles de se trouver. Le rayonnement des antennes paraboliques ne vise donc pas les mêmes zones géographiques que celui des antennes reprises dans le tableau 2 ;

- *le rayonnement de ces antennes paraboliques diffère par ses caractéristiques techniques (notamment la fréquence et la modulation) et par son contenu de celui des antennes reprises dans le tableau 2. L'utilisation de ces antennes paraboliques n'a donc pas pour but de répartir la puissance sur plusieurs antennes parce que la limite d'immission par antenne serait dépassée.*

En outre, comme exposé ci-dessus, il s'agit d'antennes dont l'immission dans les lieux de séjour est si faible par rapport à la limite 3 V/m qu'elle peut être négligée.

Le tableau 2 reprend les caractéristiques des antennes communiquées par l'opérateur. La PIRE maximale de ces antennes émettrices stationnaires est comprise entre 4 W et 500 kW et, en vertu de l'article 3 du décret, elles sont soumises à déclaration au sens du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement.

Tableau 2 : Caractéristiques des antennes[1]

Antennes	Réseau	Bande de fréquences (en émission)	Constructeur de l'antenne	Type d'antenne (numéro de référence constructeur)	Azimut[2] (par rapport au nord)	Hauteur du milieu de l'antenne au-dessus du sol	Puissance totale (à l'entrée de l'antenne)[3]	Angle de tilt[4] électrique	Angle de tilt[4] mécanique	Nombre de fréquences d'émission[5]
1	GSM	925 à 960	Jaybeam	5027 000/001	0	5,5	15,8	0	0	3
2			-	-	-	-	-	-	-	-
3			-	-	-	-	-	-	-	-
4	DCS	1805 à 1880	-	-	-	-	-	-	-	-
5			-	-	-	-	-	-	-	-
6			-	-	-	-	-	-	-	-
7	UMTS	2110 à 2170	-	-	-	-	-	-	-	-
8			-	-	-	-	-	-	-	-
9			-	-	-	-	-	-	-	-
7		925 à 960	-	-	-	-	-	-	-	-
8			-	-	-	-	-	-	-	-
9			-	-	-	-	-	-	-	-
10	LTE	1805 à 1880	-	-	-	-	-	-	-	-
11			-	-	-	-	-	-	-	-
12			-	-	-	-	-	-	-	-
Unités :		***MHz***			***degrés***	***m***	***W***	***degrés***	***degrés***	

[1] Les cellules du tableau non complétées indiquent qu'il n'y a pas d'antenne correspondante.
[2] Une valeur d'azimut de 360 indique que l'antenne peut être installée dans n'importe quelle direction ; l'abréviation « OMNI » indique que l'antenne est omnidirectionnelle.
[3] Les antennes réceptrices ne génèrent aucun rayonnement électromagnétique significatif.
[4] Un tilt positif ou négatif correspond respectivement à une inclinaison vers le haut ou vers le bas.
[5] TRX pour les réseaux GSM 900 et DCS 1800.

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

L'examen des caractéristiques techniques des différentes antennes et de leur orientation respective permet de conclure que le dernier alinéa de l'article 4 n'est pas d'application pour celles qui sont identifiées par des numéros différents dans la 1ère colonne du tableau 2. En effet, les signaux d'un réseau dans une zone géographique ne seront émis que par une seule antenne. L'immission d'aucune de ces antennes ne doit donc être ajoutée à celle d'une autre.

A contrario, les antennes qui sont identifiées par un même numéro suivi d'un chiffre après une virgule (par exemple 9,1 et 9,2) dans la 1ère colonne du tableau 2 sont utilisées pour émettre les signaux d'un même réseau dans une zone géographique. Selon le dernier alinéa de l'article 4 du décret, elles doivent être considérées comme ne formant qu'une seule antenne. Dans la suite du présent rapport, notamment dans le tableau 3 et les annexes, chaque ensemble d'antennes est identifié par le numéro qui précède la virgule (dans le cas pris en exemple, les résultats relatifs aux antennes 9,1 et 9,2 sont identifiés par le numéro 9).

Précisons qu'une valeur d'azimut égale à 360 signifie que le demandeur ne spécifie par la direction dans laquelle l'antenne sera effectivement installée. Le cas échéant, l'analyse au paragraphe 7 tient compte cette possibilité laissée aux demandeurs. Le demandeur doit toutefois veiller à ce que les azimuts des différentes antennes utilisées pour émettre les signaux d'un même réseau soient suffisamment écartés de telle sorte que ces antennes ne puissent être considérées comme couvrant la même zone géographique. Si cette condition n'était pas satisfaite, elles devaient être considérées, selon le dernier alinéa de l'article 4 du décret comme ne formant qu'une seule antenne.

5. Description de la méthode d'examen

Le contour de la zone où l'immission produite par chaque antenne pourrait dépasser 3 V/m est déterminé par le tracé de la courbe d'iso-valeur correspondant à cette limite.

Une courbe d'iso-valeur est une courbe le long de laquelle le champ présente une intensité constante. La figure 1 représente une telle courbe dans un plan vertical contenant le point milieu de l'antenne. Si elle correspond à la limite d'immission de 3 V/m, l'intensité du champ est :

- supérieure à 3 V/m à l'intérieur de la courbe (sauf si des obstacles atténuent le champ) ;
- égale à 3 V/m le long de la courbe (sauf si des obstacles atténuent le champ) ;
- inférieure à 3 V/m à l'extérieur de la courbe.

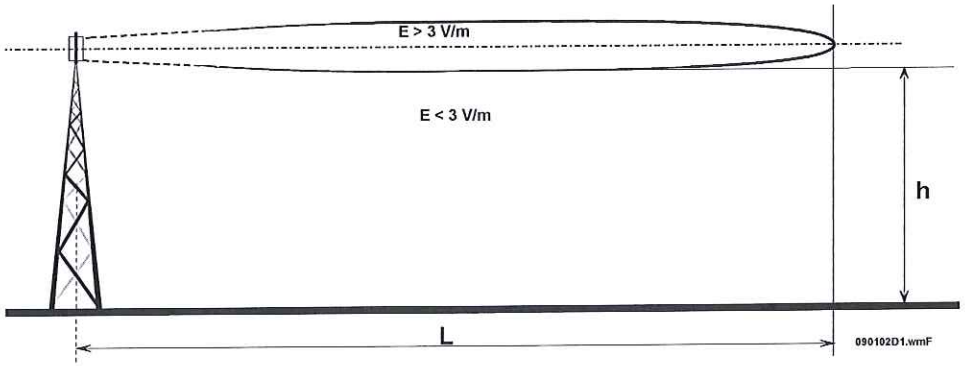


Figure 1 : Forme générale d'une courbe d'iso-valeur et définition de L et h

De telles courbes ont été tracées, pour chaque antenne faisant l'objet de la demande de permis, en considérant :

- les caractéristiques techniques reprises dans le tableau 2 ;
- la direction où l'intensité du rayonnement est maximale, c'est-à-dire l'azimut renseigné au tableau 2 (bissectrice du secteur) ;
- la puissance émise lorsque l'installation fonctionne à pleine charge ;

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

- une atténuation d'obstacle de 3 dB pour les lieux de séjour à l'intérieur des bâtiments. Précisons que l'atténuation due à l'enveloppe des bâtiments est généralement bien supérieure à 3 dB (ce qui correspond à une réduction du champ de 30%). Cette valeur permet d'éviter toute sous-estimation par rapport aux champs réels.

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, l'iso-valeur correspondante est tracée en considérant le pire cas défini comme suit :

- une puissance égale à la somme des puissances rayonnées par les antennes de cet ensemble ;
- la hauteur de l'antenne la plus basse de l'ensemble ;
- le tilt total (mécanique + électrique) le plus négatif des antennes de l'ensemble ;
- un azimut pouvant prendre toutes les valeurs comprises dans l'angle formé par les azimuts minimum et maximum des antennes de l'ensemble ;
- le diagramme de l'antenne dont le gain est le plus élevé.

Remarques concernant la précision de la méthode d'examen

Le contour des courbes d'iso-valeur est établi au moyen de relations mathématiques qui traduisent la propagation du rayonnement émis par les antennes. Ces phénomènes 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 tracé des courbes d'iso-valeur. Les principales sources d'erreurs ou d'imprécision sont commentées ci-dessous. Signalons que cette question est davantage développée dans le document mentionné dans le préambule.

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, en autres, de la taille 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 mentionné dans le préambule. 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

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

fréquence du rayonnement. On notera cependant que la précision sur ces différents paramètres est nettement 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, le contour des courbes d'iso-valeur est établi sur base de 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

Le tracé des courbes d'iso-valeur a été établi 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 λ 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, le contour de l'iso-valeur se trouve donc 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[6] 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 soient 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[7]. Cet article 49 stipule que la 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.

[6] Champ moyen calculé sur une distance de quelques longueurs d'onde.

[7] 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.

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

6. Zone où le champ pourrait dépasser la limite d'immission

Les courbes d'iso-valeur correspondant aux différentes antennes sont jointes en annexe[8] ; le tableau 3 reprend, pour chacune :

- le numéro de l'annexe ;
- le numéro de l'antenne (comme renseigné dans le tableau 2) ;
- l'azimut, par rapport au nord, auquel l'iso-valeur se rapporte ;
- la distance maximale L où le champ de 3 V/m est atteint (longueur de l'iso-valeur selon figure 1) ;
- la hauteur minimale h où le seuil de 3 V/m est atteint, mesurée par rapport au niveau du sol sous les antennes (selon figure 1)[9].

Tableau 3 : Liste des iso-valeurs correspondant au seuil de 3 V/m pour les différentes antennes dans la direction où l'intensité du rayonnement est maximale (Longueur L et hauteur h selon figure 1)

N° annexe	N° antenne	Azimut	L(m)	h(m)
A1	1	0°	9,9	1,4

7. Occupation du terrain autour des antennes et respect de la limite d'immission

Considérons les trois cas suivants :

a) les lieux de séjour[10] se trouvant à une distance de l'antenne supérieure à 9,9 m : ces lieux se trouvent obligatoirement à l'extérieur d'une courbe d'iso-valeur, y compris dans le cas où les azimuts des antennes ne sont pas spécifiés[11] dans le tableau 2 ou s'il s'agit d'antennes omnidirectionnelles ;

b) les lieux de séjour situés à une hauteur[12] inférieure à 1,4 m : ces lieux se trouvent également à l'extérieur d'une courbe d'iso-valeur, y compris dans le cas où les azimuts des antennes ne sont pas spécifiés dans le tableau 2 ou s'il s'agit d'antennes omnidirectionnelles ;

c) lorsque des lieux de séjour sont situés à une distance inférieure à 9,9 m et à une hauteur supérieure à 1,4 m : il a été vérifié qu'ils se trouvent effectivement à l'extérieur des courbes d'iso-valeur correspondante aux directions de ces lieux. Lorsque l'azimut d'une antenne est renseigné avec une valeur égale à 360° ou s'il s'agit d'une antenne omnidirectionnelle, il est considéré qu'elle peut être orientée dans n'importe quelle direction et la vérification a été effectuée en considérant toujours la courbe d'iso-valeur dans la direction où le rayonnement est maximum.

---

[8] Si le type d'une antenne repris en annexe diffère de celui renseigné dans le tableau 2, les diagrammes correspondants sont toutefois identiques.

[9] Lorsque plusieurs diagrammes de rayonnement existent pour une antenne, le calcul est basé sur ceux qui conduisent à la distance L la plus grande et la hauteur h la plus petite.

[10] Il s'agit des lieux de séjour tels que définis par le décret.

[11] C'est-à-dire lorsque la valeur 360 figure dans la colonne azimut du tableau 2.

[12] La hauteur du lieu est donnée par rapport à la même référence que celle utilisée pour exprimer la hauteur des antennes ; c'est généralement le niveau du sol sous les antennes. Rappelons que, selon le décret, l'intensité du champ dans les lieux de séjour doit être prise en compte aux niveaux suivants :

- locaux : 1,50 m au-dessus du niveau du plancher ;
- places de jeux : 1,50 m au-dessus du sol.

Remarque : ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

Chaque antenne figurant dans la déclaration produit, en tout point situé à l'extérieur de la courbe d'iso-valeur, un champ inférieur à 3 V/m lorsqu'elle émet la puissance maximale.

Etant donné la décroissance rapide du champ lorsqu'on s'éloigne de la courbe d'iso-valeur (c'est-à-dire à une hauteur inférieure à h ou à une distance supérieure à L), le champ à l'extérieur des courbes d'iso-valeur est en général nettement inférieur à 3 V/m dans les lieux de séjour.

Rappelons que la limite d'immission de 3 V/m fixée par le décret est une valeur efficace moyenne calculée et mesurée durant une période quelconque de 6 minutes. Les courbes d'iso-valeur ayant été tracées en prenant en compte la puissance maximale, elles délimitent un volume plus grand que celui qui correspond à l'immission moyenne sur toute période de 6 minutes.

Les antennes stationnaires dont les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau 2 respectent la limite d'immission fixée par le décret. Il va de soi que cette limite est également respectée si les conditions réelles d'exploitation donnent de toute évidence lieu à des immissions inférieures à celles découlant des données du tableau 2.

D'autre part, le champ généré par chacune des antennes est, en tout point, toujours inférieur à 3 V/m à 1,5 m du sol dans les éventuelles places de jeux (publiques ou privées) situées alentour des antennes.

N.B. : *Lorsque des antennes sont installées sur un toit constitué d'une plate-forme en béton, de nombreuses mesures ont montré que les champs sont tout à fait négligeables dans les locaux situés sous le toit ; ce phénomène s'explique par l'atténuation due au béton et par la directivité des antennes (il n'y a qu'une faible fraction du rayonnement qui est dirigée vers le bas).*

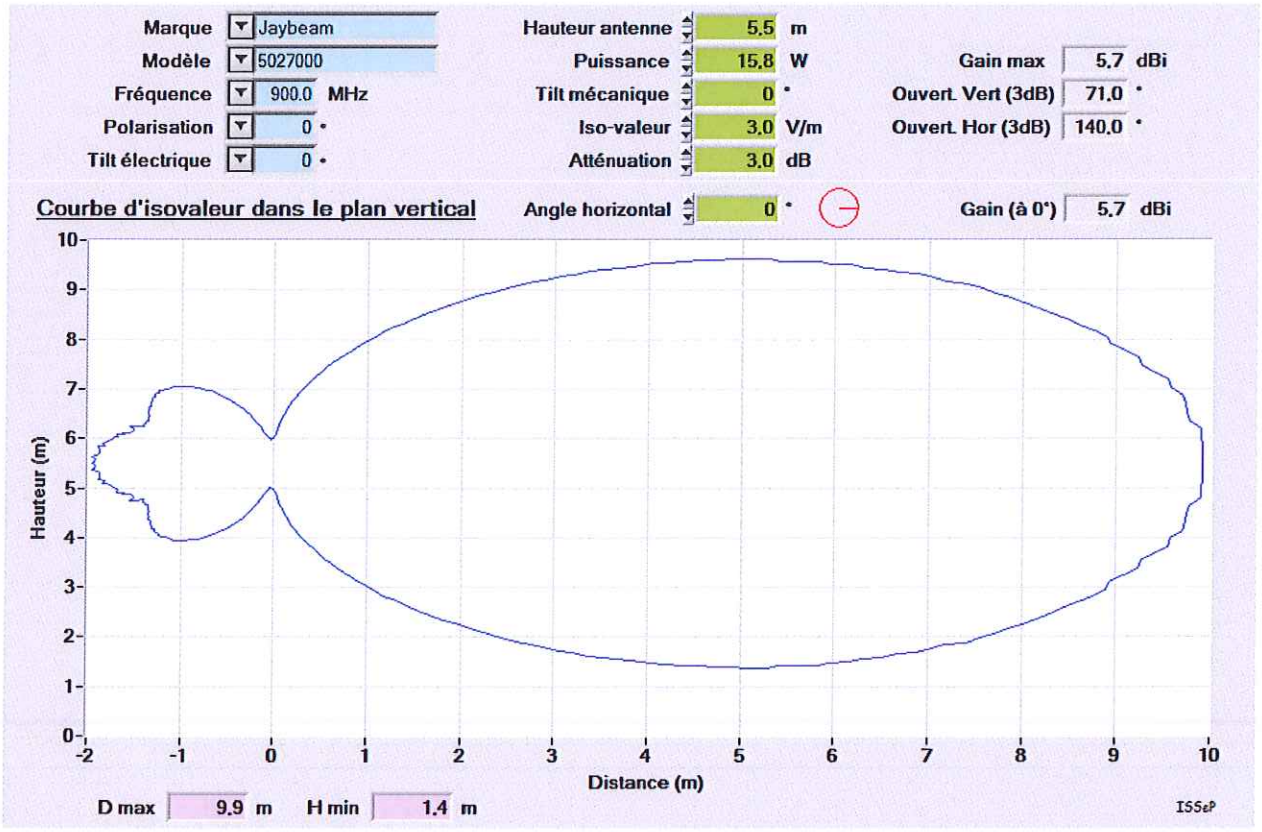
8. Conclusion

Les antennes stationnaires de l'installation référencée dans le tableau 1 et dont les caractéristiques techniques sont résumées dans le tableau 2 **respectent la limite d'immission** fixée à l'article 4 du 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.

Jean-Thierry FROMONT,
Ingénieur civil des Mines,
Attaché.

Willy PIRARD,
Ingénieur civil en Electronique,
Responsable de la Cellule
Champs électromagnétiques.

ISSeP
Institut scientifique de service public
Métrologie environnementale
Recherche - Analyses
Essais - Expertises

ANNEXE A1

ANTENNE N° 1 - Azimut 0°