ISSeP
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 11 août 2009.

# METHODE DE MESURE DES RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES POUR LE CONTROLE DES ANTENNES EMETTRICES EN REGION WALLONNE

Rapport n° 1658 / 2009

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

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

# TABLE DES MATIERES


**1 Préambule ..... 3**

**2 Symboles et abréviations utilisés ..... 3**

**3 Méthode de mesure du rayonnement électromagnétique ..... 4**

3.1 Normes de référence ..... 4
3.2 Objet des mesures ..... 4
3.3 Appareillage utilisé pour les mesures ..... 6
3.4 Zone dans laquelle des mesures sont effectuées ..... 6

**4 Détermination du champ électromagnétique à l'intérieur de bâtiments à partir du champ mesuré à l'extérieur ..... 7**

4.1 Principe de la méthode ..... 7
4.2 Prise en compte des obstacles ..... 12
4.3 Correction d'azimut ..... 12
4.4 Correction d'élévation ..... 13
4.5 Bilan de l'ensemble des corrections ..... 13


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

# 1 Préambule

Le présent document décrit la méthode de mesure appliquée par l'ISSeP pour l'établissement du rapport visé à l'article 6 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 ».

# 2 Symboles et abréviations utilisés

Les symboles et abréviations utilisés dans ce document sont repris dans la liste ci-dessous, laquelle renvoie au numéro du paragraphe où une définition ou un commentaire est fourni.

Dans ce document, et sauf mention contraire, toutes les intensités de rayonnement désignées par les symboles $E_{res}$ , $E_{max}$ , $E_{BCCH}$ , $E_{CPICH}$, $E_{MCCH}$ et $E_{LS}$ doivent être comprises comme étant des valeurs efficaces moyennes calculées sur une surface de 0,5 x 0,5 m².

Att : Atténuation (en dB) d'obstacle (§4.2)

$COR_{azimut}$ : la correction d'azimut (en dB) prend en compte le fait que le gain de l'antenne, dans la direction du lieu accessible pour la mesure, peut différer sensiblement du gain dans la direction du LS (§4.3)

$COR_{élévation}$ : la correction d'élévation (en dB) prend en compte le fait que le gain de l'antenne, dans la direction du lieu accessible pour la mesure, peut différer sensiblement du gain dans la direction du LS situé plus haut ou plus bas (§4.4)

$COR_{distance}$ : la correction de distance (en dB) prend en compte le fait que le lieu accessible pour la mesure ne coïncide pas avec le LS (§4.1)

$COR_{totale}$ : somme (en dB) de l'atténuation due aux obstacles et des corrections d'azimut, d'élévation et de distance (§4.5)

$E_{res}$ : champ (en V/m) résultant donné par la formule (4) (§3.2)

$E_{max}$ : champ maximum (en V/m) extrapolé à partir de la mesure du champ du canal de contrôle (BCCH ou MCCH) ou du canal commun (CPICH) (§3.2)

$E_{BCCH}$ : Champ (en V/m) à la fréquence du canal de contrôle (GSM 900 et DCS 1800) (§3.2)

$E_{CPICH}$ : Champ (en V/m) à la fréquence du canal commun CPICH (UMTS) (§3.2)

$E_{MCCH}$ : Champ (en V/m) à la fréquence du canal de contrôle (TETRA) (§3.2)

$E_{LS}$ : champ (en V/m) à l'intérieur du LS

LS : lieu de séjour

NP : Nombre de porteuses (GSM 900 et DCS 1800) (§3.2)

PIRE : puissance isotrope rayonnée équivalente (en W) (§3.4)

$P_M$ : point où le champ est maximum le long d'un TM (§4.1)

TM : trajet de mesure (§4 .1)

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

# 3 Méthode de mesure du rayonnement électromagnétique

## 3.1 Normes de référence

La méthode utilisée est basée sur la norme EN 50492 intitulée : « Norme de base pour la mesure du champ électromagnétique sur site, en relation avec l'exposition du corps humain à proximité des stations de base - CENELEC - Février 2008.

Pour certains aspects, la méthode se réfère également aux documents repris ci-après :

- Mesures du rayonnement électromagnétique non ionisant 1re partie : Gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz - Office fédéral suisse de l'environnement, des forêts et du paysage - mai 1992;
- Stations de base pour téléphonie mobile (GSM) - Recommandation sur les mesures - Office fédéral suisse de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et Office fédéral suisse de métrologie et d'accréditation METAS – 2002;
- Mesures de réception de RNI des stations de base GSM sur lesquelles le mode d'exploitation EDGE est implémenté - Office fédéral suisse de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) - Projet du 28.11.2005
- Stations de base pour téléphonie mobile (UMTS - FDD) - Recommandation sur les mesures - Office fédéral suisse de l'environnement, des forêts et du paysage - Projet du 17.9.2003;
- Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felden – Teil 1 : Definitionen, Mess- u. Berechnungensverfahren - DIN 57848-1/VDE 0848-1;
- Measuring Non-ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz) – Electronic Communication Committee (ECC) with the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), Revised ECC Recommendation (02)04;
- Protocole de mesure in situ visant à vérifier, pour les stations émettrices fixes, le respect des limitations, en terme de niveaux de référence, de l'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 » Document ANFR/DR 15-21 - Agence Nationale des Fréquences (France) – édition 2004.

## 3.2 Objet des mesures

Pour rappel, l'intensité du rayonnement électromagnétique généré par une antenne de téléphonie mobile présente des variations importantes :

- dans l'espace, en raison des divers phénomènes (réflexion, diffraction, ...) qui affectent la propagation des ondes;
- dans le temps puisqu'une antenne émet une puissance qui dépend du nombre de conversations en cours ou du débit de données transmis; en outre, la puissance émise est ajustée, de manière automatique, au niveau minimum suffisant pour garantir une communication de qualité (contrôle automatique de la puissance).

De manière à fournir un résultat indépendant de la puissance émise au moment des mesures, celles-ci sont réalisées à la fréquence d'une porteuse dont la puissance est constante. Conformément à la norme EN 50492, le champ correspondant à l'émission de la puissance maximale est obtenu par extrapolation :

- dans le cas du réseau TETRA, on mesure le champ $E_{MCCH}$ à la fréquence du canal de contrôle (fréquence du MCCH[1]). Le champ dû aux NP porteuses émises à la puissance maximale est déduit de la formule

[1] MCCH est l'abréviation de « *Multidestination Control Channel* ».

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

$$E_{max} = E_{MCCH} \cdot \sqrt{NP} \qquad (1)$$

- dans le cas des réseaux GSM 900 et DCS 1800, on mesure le champ $E_{BCCH}$ à la fréquence du canal de contrôle (fréquence du BCCH[2]). Le champ dû aux NP porteuses émises à la puissance maximale est déduit de la formule

$$E_{max} = E_{BCCH} \cdot \sqrt{NP} \qquad (2)$$

- dans le cas du réseau UMTS, le champ correspondant au maximum de la puissance repose sur le fait que la puissance du canal commun CPICH[3] représente environ 10% de la puissance maximale rayonnée. Ce champ maximum est déduit de la formule

$$E_{max} = 3{,}16 \times E_{CPICH} \qquad (3)$$

Précisons que la méthode utilisée fournit un résultat indépendant de la puissance rayonnée au moment des mesures. L'intensité du rayonnement électromagnétique ainsi obtenue est la valeur maximale locale et temporelle; c'est donc le champ maximum qui peut éventuellement être atteint, à l'endroit considéré, lorsque l'antenne émet à puissance maximale.

Par intensité du champ électromagnétique, il faut comprendre la résultante calculée d'après la formule suivante :

$$E_{res} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \qquad (4)$$

dans laquelle $E_x$, $E_y$ et $E_z$ désignent les composantes du champ mesurées suivant les axes orthogonaux x, y et z.

Les mesures de champ étant effectuées aux seules fréquences émises par l'antenne (mesures sélectives), elles ne sont donc pas influencées par d'autres sources générant éventuellement un champ dans la zone examinée.

On rappellera que, selon le décret, la limite d'immission de 3 V/m est une valeur efficace moyenne calculée ou mesurée durant une période quelconque de 6 minutes et sur une surface horizontale de 0,5 × 0,5 m², par antenne. La prise en compte d'une moyenne du champ sur une telle surface réduit fortement l'influence des variations dans l'espace mentionnées ci-dessus et améliore la reproductibilité des résultats. Les intensités de rayonnement dans les relations (1), (2) et (3) sont des moyennes calculées sur une telle surface.

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 : à 1,50 m au-dessus du niveau du plancher;
- dans les autres espaces : à 1,50 m au-dessus du niveau du sol.

Contrôler que la limite d'immission est respectée implique que l'intensité du rayonnement soit mesurée à l'endroit le plus exposé. Lorsqu'un LS comporte une fenêtre orientée vers une antenne à contrôler, le champ est moyenné sur une surface horizontale de 0,5 x 0,5 m² dont le bord le plus proche se trouve à environ 0,5 m du milieu de la fenêtre (fermée) et à 1,5 m au-dessus du sol ou du plancher comme illustré à la figure 1. Cette manière de procéder fournit un résultat assez reproductible et qui est représentatif de l'exposition maximale à l'intérieur du LS.

D'autre part, les relations (1), (2) et (3) prenant en compte les puissances maximales, elles fournissent donc le maximum de la moyenne mesurée pendant toute période de 6 minutes.

---

[2] BCCH est l'abréviation de « *Broadcast Control Channel* ».
[3] CPICH est l'abréviation de « *Primary Common Pilot Channel* ».

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

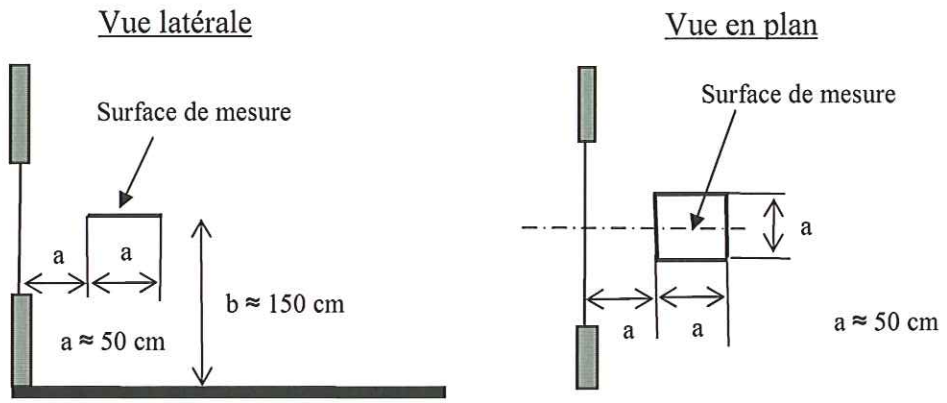


***Figure 1 – Surface de mesure dans un local avec une fenêtre orientée vers des antennes***

## 3.3 Appareillage utilisé pour les mesures

L'appareillage utilisé comprend notamment :

- un mesureur sélectif de champ (« Selective Radiation Meter ») NARDA de type SRM 3000 couvrant la bande comprise entre 100 kHz et 3.000 MHz;
- une sonde triaxiale (« Three-Axis-Antenna, E Field ») NARDA de type P/N 3501/01 couvrant la bande comprise entre 75 et 3.000 MHz.

Cet appareil fournit directement la résultante calculée selon la formule (4).

Déplacer la sonde du mesureur le long d'une surface horizontale de 0,5 × 0,5 m² lors de chaque prise de mesure fournit le champ moyen sur cette surface pour autant que l'appareil soit configuré comme suit :

- pour les mesures de signaux TETRA, GSM 900 et DCS 1800, sélectionner le mode analyseur de spectre et configurer l'appareil pour afficher le spectre moyen le plus élevé obtenu sur 8 spectres successifs (mode *max average*) de manière à obtenir un résultat stable ;
- pour les mesures de signaux UMTS, sélectionner le mode « P-CPICH demodulation » et l'algorithme de démodulation « Fast ». Configurer l'appareil pour que la moyenne soit calculée sur 8 résultats successifs de manière à obtenir un résultat stable. La colonne intitulée « Max value » fournit le maximum de la moyenne de chaque canal CPICH.

***N.B. :*** *La durée correspondant à 8 spectres ou 8 résultats successifs est généralement trop brève pour balayer l'entièreté d'une surface d'environ 0,5 × 0,5 m². Vu le fait que l'appareil ne retient que la moyenne la plus élevée, il peut en résulter une légère surestimation par rapport à la moyenne réelle sur une telle surface. Cette légère surestimation va toutefois dans le sens de la sécurité. Augmenter le nombre de spectres ou résultats successifs sur lesquels la moyenne est calculée améliore la précision et est recommandé lorsque la mesure indique que la limite pourrait être dépassée.*

## 3.4 Zone dans laquelle des mesures sont effectuées

La distance au-delà de laquelle l'intensité du rayonnement est toujours inférieure à 3 V/m dépend uniquement de la Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE)[4]. Sachant que dans

[4] La PIRE est égale au produit de la puissance injectée P par le gain (linéaire) G de l'antenne.

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

la direction où le rayonnement est maximum, la valeur théorique du champ *E*, à une certaine distance *d*, est liée à la PIRE par relation

$$E = \frac{1}{d} \cdot \sqrt{30 \times PIRE} \qquad (5)$$

On en déduit que la distance théorique $L_{.}$ au-delà de laquelle le champ est forcément inférieur à 3 V/m est donnée par :

$$L_{.} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{30 \times PIRE} \qquad (6)$$

Vu le fait que la PIRE des antennes des réseaux de téléphonie mobile est généralement inférieure à 5.000 W, la distance L dépasse rarement une bonne centaine de mètres. Compte tenu de l'atténuation d'obstacle, les LS à l'intérieur des bâtiments où le champ pourrait dépasser 3 V/m se situent à moins de 100 m de l'antenne. Dans les cas où il y a un grand nombre de LS dans le rayon $L_{.}$, les mesures sont réalisées, prioritairement, dans les plus exposés. En principe, ce sont les LS qui sont à la fois les plus élevés et les plus proches des antennes.

Si un site est équipé de plusieurs antennes, il y a lieu d'appliquer la relation (6) pour chaque azimut.

# 4 Détermination du champ électromagnétique à l'intérieur de bâtiments à partir du champ mesuré en un lieu accessible

## 4.1 Principe de la méthode

Une mesure à l'intérieur d'un LS n'est évidemment envisageable qu'avec l'accord et en présence de l'occupant, ce qui peut constituer une difficulté dans de nombreux cas. Lorsqu'il s'agit de bâtiments ne comportant que deux ou trois étages, on peut considérer que le champ à l'intérieur n'excède pas celui mesuré à l'extérieur près du sol. En effet, les murs, le toit et même les fenêtres, mais dans une moindre mesure, produisent une atténuation du rayonnement qui compense le fait que le champ augmente avec la hauteur. Dans de telles situations, les mesures sont prises dans les conditions suivantes :

- à 1,50 m ou 2,50 m du sol selon que la sonde est tenue à bout de bras ou qu'elle est placée sur le toit d'un véhicule;
- à l'extérieur le long du trottoir en face des habitations;
- autant que possible, en vue directe des antennes puisque c'est là que les champs sont en principe les plus élevés.

L'influence de la hauteur peut être mieux prise en compte en plaçant la sonde de l'appareil de mesure sur un mât télescopique. Par exemple, un mât de 5 m tenu à bout de bras permet de mesurer le champ jusqu'à environ 6 m du sol, ce qui améliore la précision s'il y a des bâtiments comportant un rez-de-chaussée plus un étage, voire éventuellement deux dans certains cas. Il est bien évident que la sonde doit se trouver du même côté que la source à contrôler pour éviter que le bâtiment ne fasse obstacle.

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

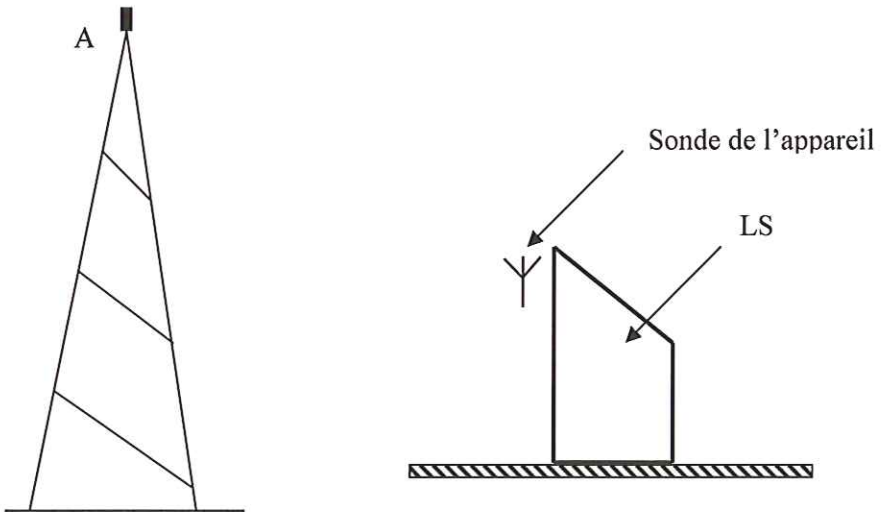


***Figure 2 – Détermination du champ au moyen d'un mât télescopique***

La Figure 3 décrit une approche qui peut être appliquée dans certains cas et plus particulièrement lorsque le LS est exposé au lobes secondaires. Elle consiste à mesurer le champ dans l'angle BÂC le long d'un trajet TM parallèle au sol (à une hauteur de 1,5 m pour la facilité), situé à l'extérieur et à côté du LS. En pratique, on mesure le champ moyen sur des surfaces de 0,5 x 0,5 m² espacées de 2 ou 3 m le long du trajet TM. Soit $P_M$ le point le long du trajet TM où le champ est maximum. Il en découle que ce maximum au point $P_M$ correspond à un maximum en un point D situé à l'intersection de la droite $AP_M$ et du mur (face extérieure). Etant donné la loi de variation du champ en fonction de la distance et si $E_D$ désigne le champ en D, on peut écrire

$$E_D = E_{P_M} \cdot \frac{AP_M}{AD} \qquad (7)$$

dans laquelle $E_{P_M}$ désigne le champ moyenné sur une surface horizontale de 0,5 x 0,5 m² située autour du point $P_M$.

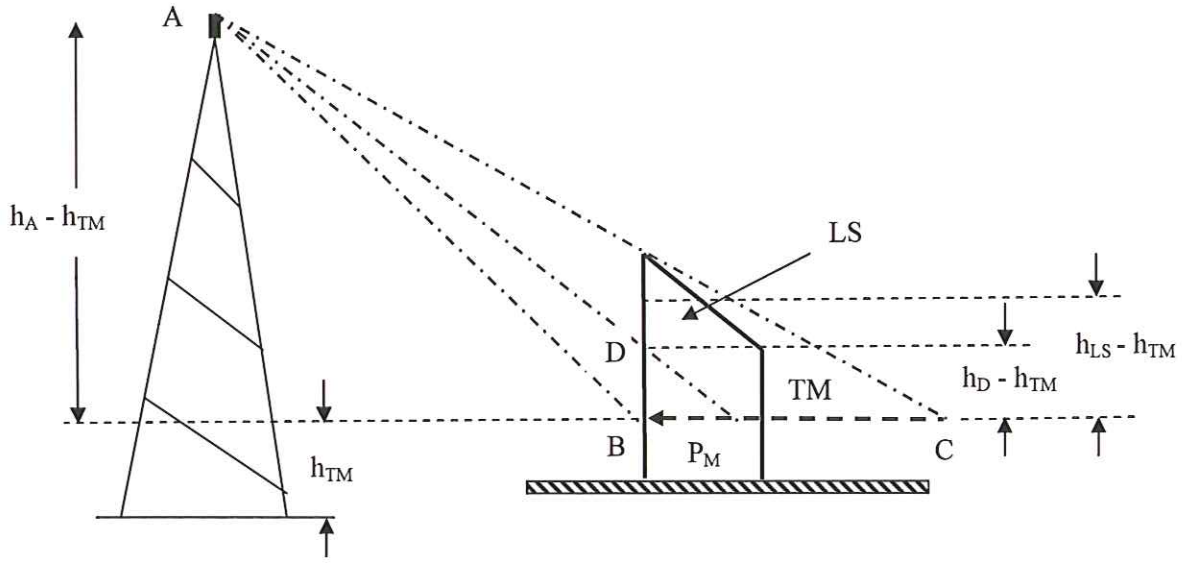


***Figure 3 – Principe de la détermination du champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure à l'extérieur (LS exposé aux lobes secondaires)***

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

Compte tenu des propriétés des triangles semblables, on peut écrire que

$$E_D = E_{P_M} \cdot \frac{h_A - h_{TM}}{(h_A - h_{TM}) - (h_D - h_{TM})} \tag{8}$$

dans laquelle :

- $h_A - h_{TM}$ est la différence entre la hauteur du milieu de l'antenne et de celle du trajet TM;
- $h_D - h_{TM}$ est la différence entre la hauteur du point D et de celle du trajet TM.

Il n'est pas indispensable de connaître la hauteur exacte du point D puisque le terme $h_D - h_{TM}$ étant au dénominateur et précédé du signe négatif, on peut écrire que le champ maximum $E_{LS}$ l'intérieur du LS satisfait l'inégalité :

$$E_{LS} \leq E_{P_M} \cdot \frac{h_A - h_{TM}}{(h_A - h_{TM}) - (h_{LS} - h_{TM})} \tag{9}$$

dans laquelle :

- $h_{LS}$ est la hauteur du point le plus élevé du LS (par exemple 1,5 m au-dessus du plancher du dernier étage).

L'inégalité (9) peut être mise sous la forme :

$$E_{LS} \leq E_{P_M} \cdot \frac{1}{1 - (h_{LS} - h_{TM})/(h_A - h_{TM})} \tag{10}$$

La relation (10) permet donc de déterminer la limite supérieure de $E_{LS}$ à partir de $E_{P_M}$ qui est le champ maximum mesuré le long du trajet TM. On note que la différence de hauteur $h_A - h_{TM}$ peut être mesurée directement, depuis le trajet TM, au moyen d'un télémètre fournissant directement la différence de hauteurs entre deux points.

De même, la différence de hauteurs $h_{LS} - h_{TM}$ peut être mesurée au moyen d'un télémètre.

Le rapport

$$\frac{1}{1 - (h_{LS} - h_{TM})/(h_A - h_{TM})} \tag{11}$$

constitue un facteur de « correction de distance » qui, comme d'autres décrits dans la suite, peut être exprimé en dB la manière suivante :

$$COR_{distance}(dB) = 20\log\left(\frac{1}{1 - (h_{LS} - h_{TM})/(h_A - h_{TM})}\right) \tag{12}$$

L'expression (12) ne faisant intervenir que des différences de hauteurs, le point de référence à partir duquel elles sont mesurées n'a pas d'importance. Le télémètre peut donc être placé le long du trajet TM, ce qui revient à prendre $h_{TM} = 0$ dans les relations (8) à (12).

Cette méthode présente l'inconvénient de conduire à une surestimation du champ; celle-ci est toutefois acceptable puisqu'elle va dans le sens de la sécurité et tant que le résultat reste inférieur à la limite d'immission. Par contre, si le résultat de l'expression (10) est supérieur à la limite d'immission, l'incertitude ne peut être levée que par une mesure dans le LS.

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

## Conditions d'application de la méthode

Déterminer le champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure à l'extérieur n'est possible que si le trajet TM se trouve en vue directe de la source de rayonnement analysée. Dans tous les cas, l'opérateur de l'appareil de mesure doit se déplacer vers la source de manière à ne pas constituer lui-même un obstacle.

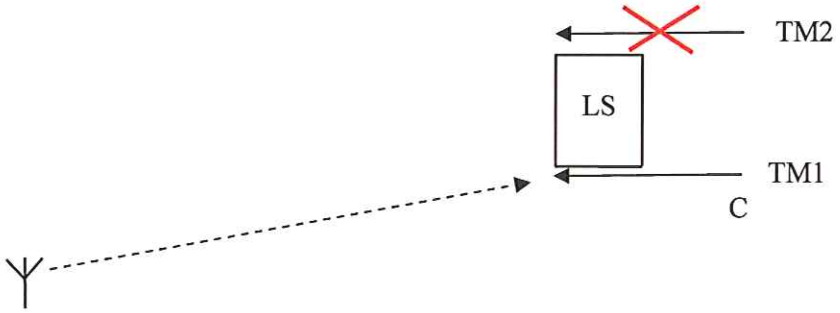


***Figure 4 – Conditions de validité d'une détermination du champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure à l'extérieur***

Les figures 4 et 5 (vues en plan) correspondent à des cas où la méthode est applicable. Dans celui de la figure 4, la mesure doit être réalisée le long du trajet TM1 qui débute au point C. Ce point C correspond à l'endroit où le sommet du LS et l'antenne examinée apparaissent sur une même ligne horizontale. Une mesure le long de TM1 n'est évidemment possible que si cette zone est accessible, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas. Une mesure le long de TM2 n'est pas permise car il est masqué, du moins partiellement, par le LS.

Dans l'exemple de la figure 5, l'accès est impossible des deux côtés du LS (aucun passage entre les bâtiments). Si l'angle formé par les façades des bâtiments et la direction de propagation de l'onde est suffisamment oblique (moins de 45° en pratique), la mesure peut être effectuée le long d'un trajet TM parallèle à la façade exposée des bâtiments. Dans un tel cas, le trajet TM commence en un point C qui correspond à l'endroit où le sommet du LS et l'antenne examinée apparaissent, approximativement, sur une même ligne horizontale.

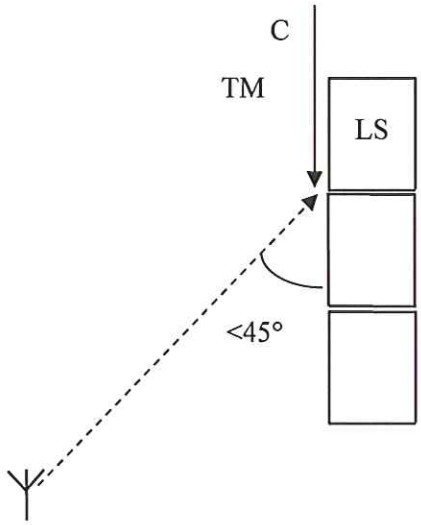


***Figure 5 – Conditions de validité d'une détermination du champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure à l'extérieur***

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

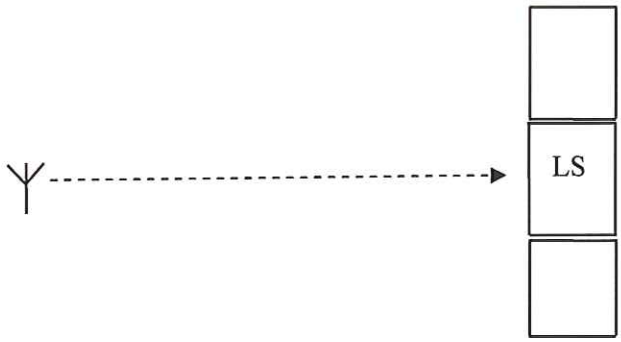


***Figure 6 – Cas où la détermination du champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure à l'extérieur est impossible***

La figure 6 décrit le cas où l'accès est impossible des deux côtés du LS et où l'alignement des façades est perpendiculaire à la direction de propagation. La méthode n'est pas applicable car le trajet TM situé dans l'angle BÂC de la figure 3 est inaccessible.

Comme précisé ci-dessus, la méthode décrite à la figure 3 s'applique plus particulièrement dans le cas où le LS est exposé aux lobes secondaires. Dans cette zone, une légère variation de l'angle d'élévation peut se traduire par de fortes variations du gain. C'est la raison qui justifie que l'on prenne plusieurs mesures le long du trajet TM afin de déterminer le champ maximum (au point noté $P_M$). Lorsque le LS se trouve dans le lobe principal, la méthode peut être simplifiée comme le montre la figure 7. En effet, dans un tel cas, le champ augmente avec l'angle d'élévation et il en résulte que c'est la zone autour du point B qui est la plus exposée. Si $E_C$ désigne la valeur du champ mesuré en lieu C accessible (valeur moyennée sur une surface de 0,5 x 0,5 m²), le champ $E_B$ au point B peut être déduit de la relation

$$E_B = E_C \cdot \frac{AC}{AB} \tag{13}$$

et la correction de distance en dB s'obtient par la relation

$$COR_{distance}(dB) = 20\log(\frac{AC}{AB}) \tag{14}$$

On notera qu'il n'est pas obligatoire que le lieu C soit à l'extérieur. Il peut s'agir d'un second LS situé approximativement dans l'alignement du premier.

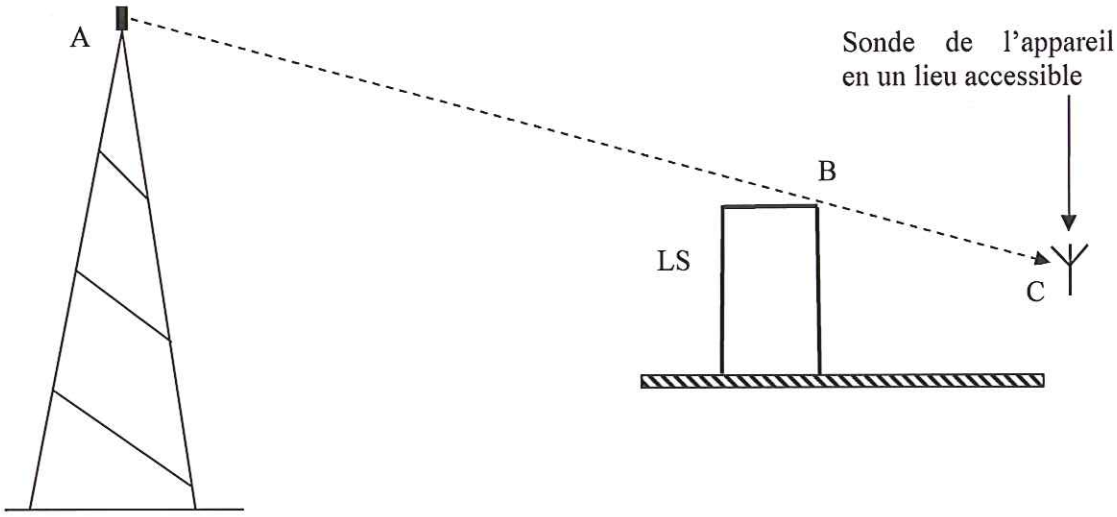


***Figure 7 – Principe de la détermination du champ à l'intérieur d'un bâtiment à partir d'une mesure en un lieu accessible (LS exposé au lobe principal)***

## 4.2 Prise en compte des obstacles

Le champ $E_{LS}$ obtenu par les relations (10) ou (13) revient à négliger l'atténuation due aux murs ou au toit. En réalité, le rayonnement est partiellement réfléchi et plus ou moins amorti, en fonction du matériau, lorsqu'il rencontre un obstacle. Ce phénomène peut être pris en compte en adoptant les atténuations préconisées, notamment, par l'Administration de l'Environnement[5] du Grand-Duché de Luxembourg et par l'Office fédéral suisse de l'environnement, des forêts et du paysage[6]. Ces atténuations sont reprises dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Atténuations d'obstacle**

| Matériau | Atténuation en dB (Att) | Coefficient d'atténuation |
|---|---|---|
| Béton armé | 15 | 32 |
| Façade ou toiture de métal | 15 | 32 |
| Brique | 5 | 3,2 |

L'expérience montre également qu'une fenêtre comportant un vitrage simple produit, aux fréquences utilisées en téléphonie mobile, une atténuation minimale 3 dB (c'est-à-dire un coefficient de 1,4). Cette atténuation est encore plus élevée avec un vitrage double ou lorsque le vitrage comporte une couche conductrice destinée à améliorer l'isolation thermique.

On en déduit que le champ à l'intérieur d'un bâtiment est donné par la relation :

$$E_{int} = E_{ext} \cdot 10^{-Att/20} \qquad (15)$$

dans laquelle Att, par défaut, est égale à 3 dB pour les LS à l'intérieur d'un bâtiment ou une valeur du tableau 1.

## 4.3 Correction d'azimut

Si le trajet TM est situé dans un azimut qui s'écarte de celui du LS, une correction peut s'avérer nécessaire dans le cas des antennes directives, comme le montre la vue en plan de la figure 8.

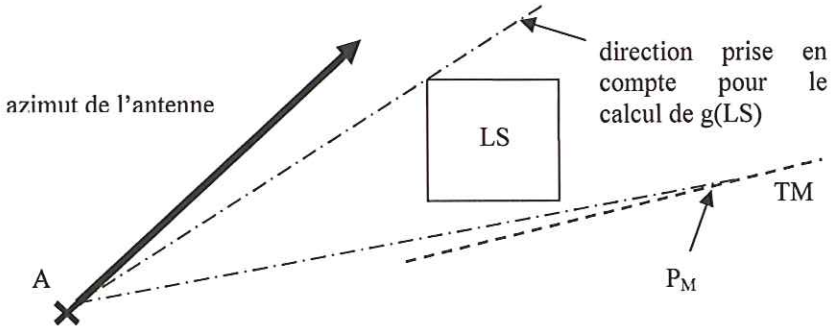


*Figure 8 – Correction d'azimut (vue en plan)*

[5] « Instructions relatives au formulaire de demande d'autorisation F_302 (http://www.environnement.public.lu/functions/search/resultHighlight/index.php?linkId=1&SID=3095cba0c712ad221081edd558fc5967).

[6] « Stations de base pour téléphonie mobile et raccordements sans fil (WLL) – Recommandation d'exécution de l'ORNI », page 25 (http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/index.html?lang=fr).

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

La correction d'azimut $COR_{azimut}$ prend en compte le fait que le gain de l'antenne, dans la direction du point $P_M$ peut différer sensiblement du gain dans la direction du LS. Cette correction est donnée par la relation :

$$COR_{azimut}(dB) = g_h(LS) - g_h(P_M) \tag{16}$$

dans laquelle $g_h(LS)$ et $g_h(P_M)$ sont, respectivement, les gains en dB dans les azimuts du LS et du point $P_M$. $g_h(LS)$ et $g_h(P_M)$ sont déduits du diagramme de rayonnement horizontal. Le champ à l'intérieur du bâtiment est donné par :

$$E_{LS} = E_{P_M} \cdot 10^{COR_{azimut}/20} \tag{17}$$

$COR_{azimut}$ est égale à 0 dB dans les cas d'une antenne omnidirectionnelle.

## 4.4 Correction d'élévation

Si la mesure est prise en un point $P_M$ situé à une hauteur différente du LS, une correction d'élévation peut s'avérer nécessaire. C'est le cas lorsque les étages supérieurs d'un bâtiment ne sont pas accessibles et que les mesures sont prises soit sur le toit du bâtiment, soit plus bas devant le bâtiment, comme représenté dans la vue en élévation de la figure 9.

La correction d'élévation $COR_{élévation}$ se calcule de manière similaire à la correction d'azimut. Elle est donnée par la relation :

$$COR_{élévation}(dB) = g_v(LS) - g_v(P_M) \tag{18}$$

dans laquelle $g_v(LS)$ et $g_v(P_M)$ sont, respectivement, les gains en dB correspondant aux élévations du LS et du point $P_M$. $g_v(LS)$ et $g_v(P_M)$ sont déduits du diagramme de rayonnement vertical.

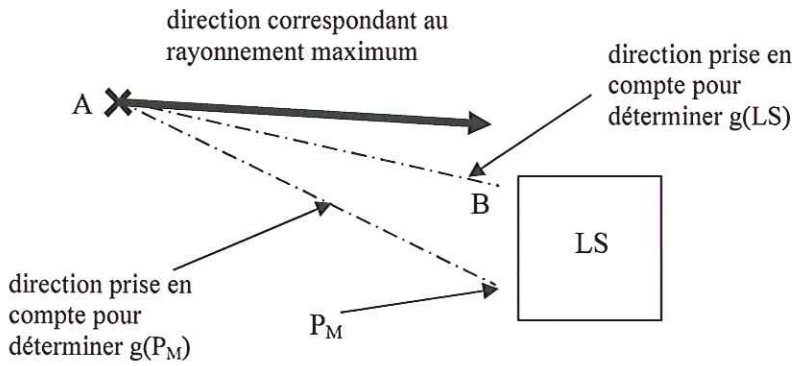


***Figure 9 – Correction d'élévation (vue en élévation)***

Le champ à l'intérieur du LS, en absence d'atténuation d'obstacle est donné par la relation :

$$E_{LS} = E_{P_M} \cdot 10^{COR_{élévation}/20} \tag{19}$$

Effectuer une correction d'élévation n'est permis que pour autant que le LS et le point $P_M$ trouvent dans le lobe principal de l'antenne. En effet, les variations du gain d'antenne dans la direction des lobes secondaires sont trop importantes pour permettre une correction fiable.

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

## 4.5 Bilan de l'ensemble des corrections

La correction totale, exprimée en dB, est donnée par la relation

$$COR_{totale}(dB) = COR_{distance} - Att + COR_{azimut} + COR_{élévation} \qquad (20)$$

Il découle de ce qui précède que

$$E_{LS} \leq E_{P_M} \cdot 10^{COR_{totale}/20}. \qquad (21)$$

Il convient d'être attentif au signe des diverses corrections dans l'expression (20) puisqu'elles peuvent être positives au négatives.

**********

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