

ROYAUME DU MAROC



وكالة تنظيم الاتصالات
AGENCE NATIONALE DE RÉGLEMENTATION DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

**PROTOCOLE DE MESURE DES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX
RAYONNEMENTS DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES
NON IONISANTS**

**DIRECTION TECHNIQUE
Version Juillet 2002**

SOMMAIRE

Introduction :	1
I- Objectifs	2
II- Références	2
III- Définitions et abréviations	2
IV- Tableau des services radioélectriques	4
V- Processus de mesure	4
V.1- Analyse de sites	5
V.2- Relevé des niveaux de champs électromagnétiques	6
V.2.1- Cas général	6
V.2.2- Cas des services particuliers	9
V.3- Incertitudes de la mesure	10
V.3.1- Eléments contributifs	10
V.3.2- Evaluation des incertitudes de mesure	12
V.4- Comparaison des valeurs mesurées avec les niveaux de référence	13
V.5- Evaluation de l'exposition liée à des sources multifréquences	13
V.6- Conclusion	14
ANNEXE 1 Fiche de mesures	15
Description du site d'émission	15
Conditions de mesure	16
Incertitudes	17
Résultats des Mesures	18
Effets cumulatifs	18
ANNEXE 2- Niveaux de référence de l'ICNIRP 3KHz – 300 GHz	19
ANNEXE 3 : Description des Equipements de Mesure	20
Tableaux et Illustrations	21

Introduction :

Le présent document décrit la méthodologie et le processus de mesure des champs électromagnétiques en vue de l'évaluation des conditions d'exposition aux rayonnements non-ionisants émis par les différents types d'installations radioélectriques fixes (téléphonie cellulaire GSM, systèmes trunk, émetteurs de radiodiffusion, radars,...).

En particulier, ce protocole s'applique pour l'évaluation des niveaux de référence des champs électromagnétiques de 3KHz à 300 GHz à l'exception des niveaux du courant induit et du courant de contact.

Le document expose, entre autres le principe à suivre pour la localisation des points de mesure, l'identification les différents types d'émetteurs, le relevé des valeurs mesurés et la comparaison avec les niveaux de référence. Il traite, en outre, des aspects relatifs à l'incertitude de la mesure en terme d'éléments contributifs et de la formulation de cette incertitude.

I- Objectifs

Le présent document traite de la méthode de mesure du champ électromagnétique pour le respect des niveaux de référence des rayonnements dans la bande 3 kHz – 300 GHz. Ainsi, les niveaux du champ électromagnétique mesurés au voisinage des stations d'émission fixes, seront comparés aux niveaux de référence de l'ICNIRP (voir annexe 2).

II- Références

[1]. ICNIRP Guidelines : Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Preprint scheduled to appear in Health Physics April 1998, volume 74, Number 4:494-522.

[2]. CEI « Directive pour l'expression de l'incertitude de mesure » Ed 1 1995.

III- Définitions et abréviations

Rayonnements non ionisants : Rayonnements émanant de champs électromagnétiques dont l'énergie est trop faible pour produire une ionisation dans les milieux qu'ils traversent.

Taux ou Débit d'absorption spécifique (TAS ou DAS, en anglais SAR «specific absorption rate »): Quantité d'énergie absorbée par (dissipée dans) une unité de masse du tissu biologique, exprimé en (W/kg).

Densité de courant : le courant traversant une unité de surface perpendiculaire au flux de courant dans un volume conducteur tel que le corps humain ou une partie du corps, exprimée en ampères par m² (A/m²).

Densité de puissance S : puissance par zone unitaire perpendiculaire à la direction de propagation des ondes électromagnétiques, généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m²).

ICNIRP : Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non Ionisants (CIPR-NI).

Induction magnétique (densité de flux magnétique) B: la grandeur vectorielle définie en terme de force exercée sur des charges circulantes, et elle est exprimée en teslas (T). En espace libre et dans les matières biologiques, l'induction magnétique et l'intensité de champ magnétique peuvent être utilisées indifféremment selon l'équivalence : (1Am⁻¹ = 4 π 10⁻⁷ T).

Intensité de champ électrique E la grandeur vectorielle qui correspond à la force exercée sur une particule chargée indépendamment de son déplacement dans l'espace. Elle est exprimée en volts par mètre (V/m).

Intensité de champ magnétique H : la grandeur vectorielle qui, avec l'induction magnétique, définit un champ magnétique en tout point de l'espace. Elle est exprimée en ampères par mètre (A/m).

Niveaux de référence : Dans la zone de champ lointain, c à d à quelques longueurs d'ondes de la source, des **niveaux de référence** sont déduits sur la base des modélisations mathématiques et de l'extrapolation des résultats des recherches effectuées dans les laboratoires. Ils sont formulés en terme d'intensités de champ électrique, magnétique et de densité de puissance en valeurs moyennes sur le corps entier.

Restrictions de base: la valeur limite du Taux d'Absorption spécifique de l'énergie dans les tissus, de densité de courant ou de densité de puissance estimée à partir du seuil d'apparition d'effet sanitaire proposé par l'OMS.

Signaux significatifs : signaux ayant un niveau supérieur au millième du niveau de référence correspondant à la fréquence d'émission (60dB / aux niveaux de référence).

Zone Champ lointain : est la région du champ d'une antenne dans laquelle la distribution angulaire du champ est essentiellement indépendante de la distance par rapport à l'antenne. Région dans laquelle le champ présente essentiellement la forme d'une onde plane.

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

IV- Tableau des services radioélectriques

Radiodiffusion AM FM {...} ;RIR {...} ;GSM{...} ;TV {...} ;FH {...} ;Radars {...}
Communications Fixes par satellites {...}

à remplir par le département chargé de la gestion du spectre :

Bande de Fréquences	Type du service radioélectrique	Composante du champ électromagnétique
3KHz-		H
		H
10MHz-30MHz		H
30MHz-		E
890-960 MHz	GSM 900	E
1710- 1880 MHz	DCS	E
		E
		E
		E
		E
		E
GHz		E

Tableau 1- Services radioélectriques

V- Processus de mesure

Le processus adopté est composé des étapes suivantes :

- Analyse de sites ;
- Relevé des niveaux de champs électromagnétiques ;
- Comparaison des valeurs mesurées et extrapolées avec les niveaux de référence ;
- Evaluation de l'exposition liée à des sources à plusieurs fréquences.

La **bande d'analyse minimale** à parcourir est de {...} MHz - {...} GHz. Il sera vérifié qu'aucun émetteur significatif situé en dehors de la bande citée précédemment ne sera opérationnel :

- au dessous du ... MHz, la vérification sera effectuée sur la base des données administrative;
- au dessus de ... GHz, la vérification sera visuelle.

Remarque : Toutes les règles de l'art de la mesure et les instructions/recommandations des constructeurs d'équipements doivent être respectées.

V.1- Analyse de sites

La première étape des mesures consiste à établir une topologie des émetteurs présents et de leurs zones de rayonnement, les éléments suivants sont à lister :

- Nature des émetteurs,
- Emplacement des émetteurs,
- Nombre d'émetteurs,
- Description du système antennaire (site d'installation, orientation des antennes, type d'antennes, hauteur, dimension).

Remarque : Cette topologie sera faite de façon visuelle, et pourra être affinée par des mesures techniques (des téléphones mobiles « à trace » pourront être utilisés pour la bande GSM).

- Choix de la zone de mesure :

La zone de mesure sera identifiée à partir d'une étude technique et visuelle. Dans tous les cas, la zone publique la plus exposée sera retenue comme zone de mesure.

- Détermination de la zone de mesure :

La mesure du champ électromagnétique se limitera si cela est possible à la mesure d'une seule de ses composantes « E » (électrique) ou « H » (magnétique), cela se fera en s'assurant préalablement que nous sommes dans les conditions d'une émission en champ formé. Dans ce cas, la composante électrique ou magnétique sera

mesurée, et la formule suivante sera appliquée : $\frac{E}{H} = Z_0 = 377 \Omega$

Avec D = dimension de l'antenne λ = longueur d'ondes

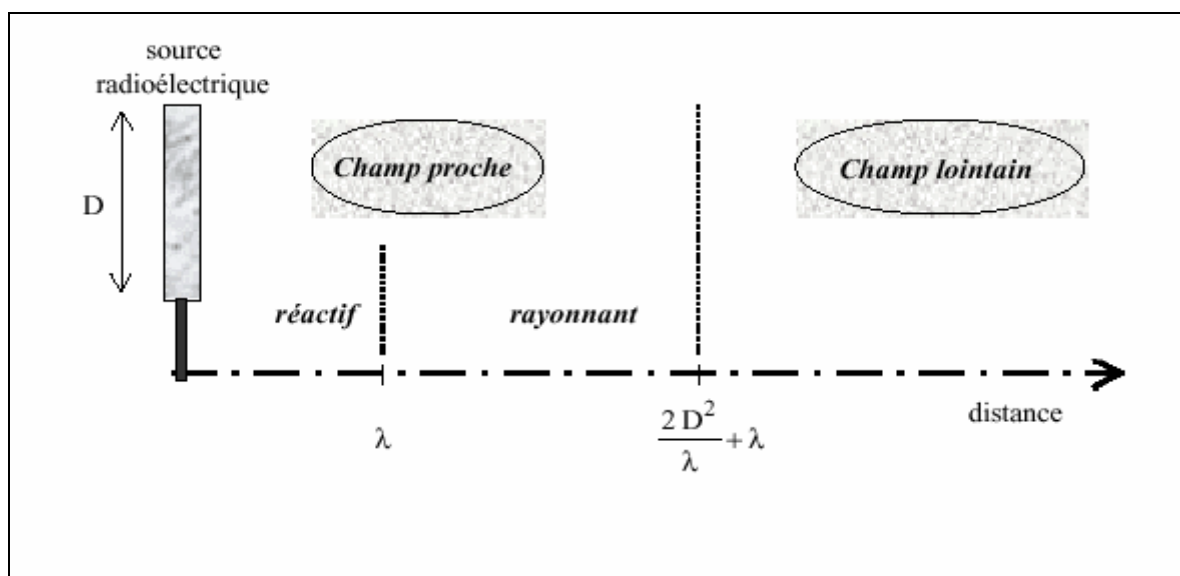


Figure1 : Propagation d'une onde électromagnétique

Dans la zone de champ lointain où $d > (2D^2/\lambda + \lambda)$ la mesure du champ E ou H est suffisante, cela est acquis :

1. Pour le GSM 900 à une distance de 30cm (λ à 935 MHz).
2. Pour le DCS à une distance de 15 cm (λ à 1800 MHz).
3. La radiodiffusion « sonore » à une distance de 3 m (λ à 100 MHz).

- Choix des équipements de mesure :

Préalablement aux mesures, les équipements seront adaptés à la nature des émetteurs et aux intensités de champs électromagnétiques à relever.

La présente méthode est basée sur l'utilisation d'analyseurs de spectre ou récepteurs de mesure (analyses sélectives). Cependant il est à noter qu'à proximité d'antennes d'émissions, l'utilisation de ce type d'équipements doit être effectuée avec précaution (protection de l'appareil, mise en place d'atténuateurs, ...). Dans de telles situations, l'utilisation d'une sonde de champ isotropique est recommandée (bonne immunité au champ fort), on considérera dans ce cas que le niveau relevé correspond à la contribution unique de l'émetteur en question.

Les équipements de mesure sont décrits en annexe 3.

V.2- Relevé des niveaux de champs électromagnétiques

V.2.1- Cas général

Pour une zone de mesure déterminée, les opérations suivantes sont à effectuer et doivent être consignées sur la fiche des résultats de mesure en annexe 1 :

1. Relevé de la position géographique de la zone de mesure (par GPS).
2. Relevé des aspects spécifiques de la zone de mesure (conditions météorologiques, présence de sites sensibles, densité de la zone, ...).
3. Enregistrement de la date et de l'heure du début des mesures.
4. Point de mesure : La mesure s'effectue en un point unique, situé à 1,5 m du sol.

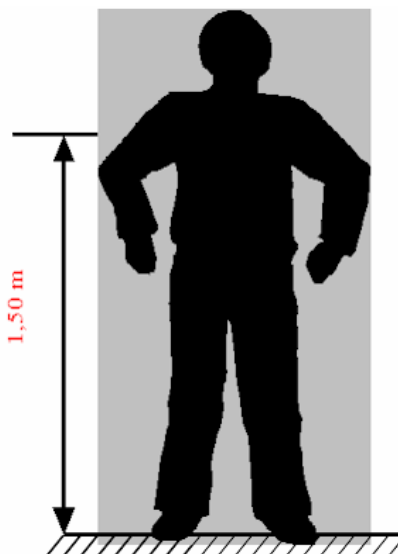


Figure 2 : Point de mesure

4. Détection des émissions significatives :

- ♦ En parcourant la bande de fréquences étudiée avec un équipement sélectif en fréquences, on effectue le relevé de la fréquence des signaux significatifs. Le balayage fréquentiel doit être adapté à la nature des différents services rencontrés.
- En l'absence de signaux significatifs pour un service donné, l'émission la plus forte sera considérée.
- En présence de champs forts, la présente méthode n'est pas applicable.
- Les signaux fugitifs & non répétitifs sont exclus des mesures.
- Les équipements dont le rayonnement électromagnétique est "contrôlé" doivent être éteints pendant la phase des mesures (ex : four à micro ondes, téléphones mobiles personnels, téléphone sans fils, etc...).

5. Mesure de l'intensité de la ou des composantes du champ électromagnétique pour toutes les émissions significatives détectées au point précédent :

- Réglez la fréquence centrale sur chaque canal de l'émission ou un ensemble de canaux de même nature avec une résolution adaptée à la largeur du canal ou une résolution inférieure en effectuant un calcul cumulatif (power channel).
- Pour le couplage maximal avec l'antenne, mettre l'analyseur du spectre dans un mode permettant d'accéder à la valeur moyenne temporelle de la puissance sur une durée suffisamment longue ($t > 6\text{min}$) de façon à obtenir un niveau stabilisé et le relever sur la fiche des mesures.
- Pour les signaux à enveloppe constante, la durée des mesures n'a pas d'importance.
- Conversion du niveau reçu en intensité de champ électrique :
Lors de l'utilisation d'équipements ne permettant pas une lecture directe de l'intensité de champ, la conversion suivante s'avère indispensable :

$$E_{dB\mu V/m} = F_{dB(m-1)} + V_{dB\mu V} + P_{CdB}$$

Pour ces mêmes équipements, le calcul de la tension limite/significative et l'affichage des masques sera effectué suivant les formules :

$$V_L (dB\mu V) = E_L (dB\mu V/m) - F (dB/m) - P_c (dB)$$

$$V_s = V_L - 60 \text{ dB}$$

Avec :

F :	Facteur d'antenne	Pc :	Valeur absolue des pertes câble à la fréquence maximale de l'émission
V :	Tension moyenne	E :	Intensité de champ électrique
V_L :	Tension Limite	E_L :	Intensité de champ Limite
V_s :	Tension significative		

- Isotropie de la mesure

Lorsque les mesures sont effectuées avec des antennes élémentaires comme la boucle magnétique ou le dipôle électrique, les mesures isotropes sont obtenues en orientant les antennes successivement suivant trois directions orthogonales et en sommant leurs contributions.

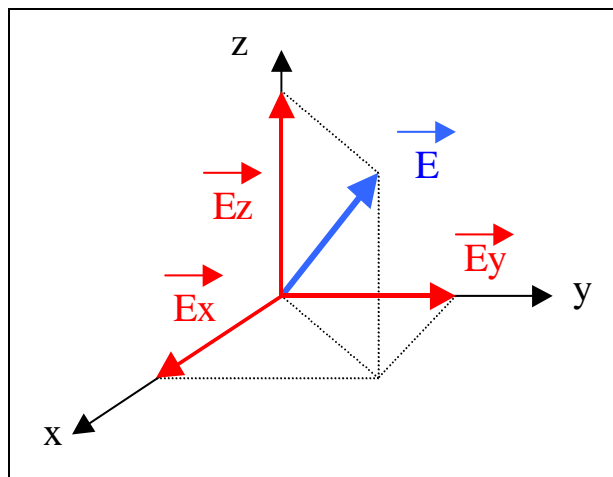


Figure 3: Champ électrique résultant

Ainsi le calcul du champ résultant est effectué en utilisant l'équation suivante :

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}$$

Si l'on considère qu'il y a une contribution principale et que les contributions secondaires sont négligeables, il est alors possible d'utiliser une antenne directive (polarisation adaptée à celle de l'émission). L'antenne est orientée (direction, polarisation) de façon à obtenir le maximum d'intensité de champ E ou H :

- Rotation de 360° dans un plan horizontal pour la polarisation de l'émission ;
- Poursuite de la recherche dans le plan vertical pour la position de champ maximal ;
- Poursuite de la procédure jusqu'à la détection du point de champ maximum.

Dans ce cas, l'incertitude de mesure liée à la non-isotropie est fortement liée au fait qu'il n'y a qu'une contribution principale et que les contributions secondaires sont négligées.

Remarque :

- Pour l'utilisation d'une sonde de mesure de champ isotropique, la lecture de l'intensité du champ est immédiate, cependant il faut veiller à effectuer la mesure sur une période de 6 min (Cf. annexe 2).
- L'unité d'intensité du champ E est V/m, Pour la mesure du champ en un point de réception, il est courant d'exprimer le niveau e en unités logarithmiques dB(μ V/m), $e=20\log E$.

6. Enregistrement de l'heure de fin des mesures.

V.2.2- Cas des services particuliers

a- Les réseaux « GSM », « DCS », systèmes (trunk)

Pour ce type de systèmes, une station de base pourra être considérée comme un ensemble de n émetteurs/récepteurs ou « TRX » :

- Un TRX voie balise de puissance constante P_0 ,
- (n-1) TRX d'une puissance égale à P_0

Aussi et afin de prendre en compte un éventuel trafic maximal, il est recommandé de procéder à une extrapolation du champ mesuré E :

- La première étape consiste à identifier les voies « balise » (BCCH en GSM et DCS) au moment de la mesure, ceci peut se faire de plusieurs façons :
- A l'aide d'un analyseur de spectre, les voies « balise » sont identifiées par leur permanence et leur niveau stable (contrairement aux canaux de trafic dont les niveaux varient en fonction du temps et du trafic),
- A l'aide d'un mobile à trace en notant les numéros des canaux « balise ».

La deuxième étape consiste à recenser le nombre des canaux de trafic associé à chaque voie balise sur la base des données disponibles.

Le calcul du champ extrapolé au maximum de trafic sera effectué suivant la formule :

$$E_{\text{extrapolé}} = E_{\text{Balise}} \times \sqrt{n_{\text{TRX}}}$$

où

- E_{Balise} : Le champ électrique E mesure correspondant à la fréquence balise ;
- n_{TRX} : Le nombre des émetteurs récepteurs TRX par secteur.

b- Les émissions pulsées / radars

Concernant les émissions pulsées / "radar", il convient d'évaluer préalablement la valeur crête du signal, cela s'effectue conformément aux instructions suivantes :

- Prendre un filtre suffisamment large pour effectuer la mesure sur une durée inférieure à l'impulsion (dans le cas d'une impulsion non modulée, un filtre de largeur $4/\tau$, avec τ durée de l'impulsion qui permet d'obtenir 99% de la puissance du signal),
- Utiliser la fonction «max hold» sur une ou quelques rotations du radar (jusqu'à stabilisation du signal),
- Choisir le mode de détection crête positive,
- Choisir une excursion en fréquence nulle centrée sur la fréquence centrale de l'émission.

Pour accéder à la valeur moyenne, 2 procédés pourront être utilisés :

- Connaissant les caractéristiques temporelles du signal, la valeur moyenne sera déterminée à partir de la valeur crête,
- Relevé de la valeur moyenne temporelle du signal (suppression de la fonction «max hold» utilisée pour la mesure de la valeur crête).

V.3- Incertitudes de la mesure

L'évaluation de l'incertitude de mesure doit être basée sur les règles générales fournies par la directive du Comité Electrotechnique International "Directive pour l'expression de l'incertitude de mesure", Éd. 1, 1995.

Le *Type A* ou le *Type B* d'évaluation de l'incertitude standard doit être utilisé :

- ♦ Quand une analyse du *Type A* est réalisée, l'incertitude standard u_i doit être dérivée de l'estimation des observations statistiques.
- ♦ Quand une analyse du *Type B* est réalisée, l'incertitude standard u_i vient des limites supérieure a_+ et inférieure a_- de la quantité en question, en fonction de la loi de distribution définissant $a = (a_+ - a_-)/2$, alors :

Loi de distribution	u_i
Rectangulaire	$a/\sqrt{3}$
Triangulaire	$a/\sqrt{6}$
Normale	a/k
en U (asymétrique)	$a/\sqrt{2}$

où k est un facteur de couverture (nombre de fois l'écart type), k = 1 correspond à un niveau de confiance de 66%, k = 2 à 95%, k = 3 à 99%.

V.3.1- Eléments contributifs

a- Instruments de mesures

▪ Facteur d'antenne

L'étalonnage de l'antenne sur une bande de fréquences donne un facteur d'antenne en fonction des fréquences de mesure. Cette procédure d'étalonnage conduit à une incertitude qui peut être donnée par le constructeur. En l'absence d'information précise, cette incertitude est estimée à 3 dB à 95 % (k=2).

Dans le cas de l'utilisation d'une sonde isotrope, l'incertitude sur le facteur d'antenne comporte d'une part l'incertitude d'étalonnage et d'autre part l'incertitude liée à la réponse en fréquence.

▪ Isotropie

L'incertitude liée à l'isotropie n'est évaluée que lors de l'utilisation d'une sonde de mesure de champ isotropique. Dans le cas de l'utilisation d'une antenne étalonnée non isotropique, l'incertitude entre dans le cadre de l'orientation de l'antenne.

L'isotropie des sondes sur une bande de fréquences est souvent donnée par le constructeur. Il est possible d'effectuer une évaluation de l'isotropie en utilisant un champ connu et en tournant la sonde sur elle-même, l'isotropie suit alors une distribution rectangulaire.

Le cas de l'utilisation d'un dipôle tourné suivant trois axes orthogonaux peut être ramené à un défaut d'isotropie et permet d'évaluer le champ provenant de toutes les directions et de tenir compte des réflexions, diffractions lorsque la mesure ne s'effectue pas en vision directe. L'incertitude d'isotropie calculée est alors de l'ordre de 20% (distribution rectangulaire).

- **Linéarité de la sonde**

Les sondes ont une réponse non linéaire sur certaines valeurs de champ et quadratique sur d'autres. Le champ est souvent évalué dans la partie quadratique de la sonde, conduisant à une proportionnalité entre la tension mesurée et le carré du champ. L'écart par rapport à la courbe de correspondance conduit à une erreur qui est de l'ordre de 1 dB à 95 % (k=2)

L'incertitude de linéarité est souvent fournie avec les caractéristiques constructeur à 95% (k=2).

- **Autres appareils de mesure**

La contribution à l'incertitude des appareils de mesure, par exemple un voltmètre, doit être évaluée sur la base de ses certificats d'étalonnage. L'incertitude due à un appareil de mesure doit être évaluée en supposant une distribution normale de probabilité.

A cette incertitude, il faut ajouter les incertitudes dues aux câbles, typiquement de 0,2 dB à 95% (k=2).

b- Paramètres extérieurs

- **Visée de la source**

En cas d'utilisation d'une antenne étalonnée non isotrope, la procédure de mesure précise comment orienter l'antenne et trouver l'orientation des champs.

Cette procédure est applicable en particulier lorsque la source est clairement identifiée et en visibilité directe. Cependant la mesure permet difficilement de tenir compte de la contribution du champ provenant de plusieurs directions.

L'incertitude de positionnement est estimée à 5° d'orientation. Cette incertitude doit être rapprochée du gain de l'antenne calibrée pour estimer l'incertitude sur le gain de l'antenne à appliquer.

Cette incertitude suit une distribution rectangulaire.

- **Variations spatiales du champ dues au Rayleigh**

Lorsque la mesure ne s'effectue pas dans le faisceau principal de l'antenne, le champ provient souvent d'une somme de contributions provenant de diverses directions. L'utilisation d'une antenne calibrée avec visée est alors délicate. Cette sommation des champs provenant de multiples directions,

particulièrement importante pour les mesures indoor, suit une distribution de Rayleigh.

Une analyse théorique montre que le champ peut varier entre le maximum (avec une probabilité de 66%) et la moyenne statistiquement de 3 dB (pour k=1).

Pour les mesures dans le faisceau principal de l'antenne, l'incertitude due au Rayleigh n'est pas à prendre en compte.

V.3.2- Evaluation des incertitudes de mesure

Les contributions de chaque composant à l'incertitude doivent être notées avec leur nom, la distribution de probabilité, le coefficient de sensibilité et la valeur de l'incertitude. Les résultats doivent être enregistrés dans un tableau (Cf. Tableau 2) de la forme ci-dessous. L'incertitude combinée doit alors être évaluée selon la formule suivante:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2}$$

où c_i est le coefficient de pondération égal à 1, pourvu que toutes les incertitudes soient exprimées par rapport à un champ.

L'incertitude étendue doit être évaluée en utilisant un intervalle de confiance de 95 %.

Sources d'erreur	Valeur d'incertitude (%)	Distribution de probabilité	Diviseur K dans le cas d'une information constructeur	c_i	Incertitude standard à 66% (%)
Appareillage de mesure					
Facteur d'antenne		Normale	K	1	
Isotropie		Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	
Linéarité		Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	
Dispositif de mesure		Normale	K	1	
Paramètres extérieurs					
Visée de la source		Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	
Rayleigh		Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	

Incertitude standard combinée		$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2}$		
Incertitude étendue (Intervalle de confiance de 95 %).		Normale		$u_e = 1,96u_c$

Tableau 2: Evaluation de l'incertitude totale

V.4- Comparaison des valeurs mesurées avec les niveaux de référence

Des niveaux d'exposition de référence (Cf. annexe 2) sont prévus afin de permettre la comparaison avec les valeurs mesurées ou extrapolés (cf. paragraphe V.2.2-a).

Remarque :

Concernant les émissions pulsées / "Radar", il convient également de comparer la valeur crête relevée du signal aux valeurs de référence de crête suivantes (pour le champ électrique E (V/m), et pour le champ magnétique H (A/m) et B (µT)) :

- Pour des fréquences jusqu'à 100 kHz, les valeurs de référence de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces (rms) correspondantes par $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Pour des impulsions de durée t_p , la fréquence équivalente à appliquer devrait être calculée selon la formule $f = 1 / (2t_p)$,
- Pour des fréquences comprises entre 100 kHz et 10 MHz, les valeurs de référence de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces (rms) correspondantes par:
 - 10^α , où $\alpha = [0,665 \log(f/10^5) + 0,176]$, f étant exprimée en Hz,
 - Pour des fréquences comprises entre 10 MHz et 300 GHz, les valeurs de référence de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces (rms) correspondantes par 32.

V.5- Evaluation de l'exposition liée à des sources multifréquences

Suite à la mesure de chaque émission, et après avoir vérifié que chaque signal respecte son niveau de référence, il convient d'apprécier les effets cumulatifs de ces émissions :

1. Pour les effets de stimulation électrique, qui concernent des fréquences :

$$\sum_{i=1}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right) + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{10 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{a} \right) \leq 1 \quad \text{et} \quad \sum_{j=1 \text{ Hz}}^{65 \text{ KHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right) + \sum_{j>65 \text{ KHz}}^{10 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{b} \right) \leq 1$$

2. Pour les conditions d'effet thermique:

$$\sum_{i=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{et} \quad \sum_{j=100 \text{ KHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

Avec:

1. E_i est l'intensité de champ électrique à la fréquence i ;
2. $E_{L,i}$ est le niveau de référence de champ électrique ;

3. H_j est l'intensité de champ magnétique à la fréquence j ;
4. $H_{L,j}$ est le niveau de référence de champ magnétique.
5. ;Pour l'exposition du public :
 $a = 87 \text{ (V/m)}$ et **$b = 5 \text{ (A/m)}$.
 $c = 87/f^{1/2} \text{ (V/m)}$ et **$d = 0,73/f \text{ (A/m)}$.****
6. pour l'exposition des travailleurs :
 $a = 610 \text{ (V/m)}$ et **$b = 24.4 \text{ (A/m)}$.
 $c = 610/f \text{ (V/m)}$ (f en MHz) et **$d = 1.6/f \text{ (A/m)}$ (f en MHz).****

V.6- Conclusion

Une conclusion sur la conformité du site vis à vis des limites adoptées sera précisée. Les éléments décrits ci dessus seront consignés dans la fiche de mesures (annexe1).

ANNEXE 1 Fiche de mesures

Description du site d'émission

Identification du site d'émission		
Désignation du site		
Configuration		
Cordonnées géographiques	Longitude	
	Latitude	
Adresse du site		
Hauteur de l'antenne		
Hauteur du pylône		

Nature de l'environnement du site	Zone dense urbaine	<input type="checkbox"/>
	Zone semi-urbaine peu dense	<input type="checkbox"/>
	Zone rurale	<input type="checkbox"/>

Existence de lieux publics		Distance (m)
Hôpital / établissement médical	<input type="checkbox"/>	
Crèche/école	<input type="checkbox"/>	
Place publique/ parc	<input type="checkbox"/>	
Maison de retraite	<input type="checkbox"/>	

Existence d'autres émetteurs radioélectriques	Distances (m)				
	< 50 m	50–100 m	100–200 m	200–1000 m	1Km-10 Km
GSM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TV /Radiodiffusion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Autres	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Conditions de mesure

Date :			
Heure de début		Heure de fin	

Coordonnées du point de mesure	Longitude	
	Latitude	
	Distance par rapport à l'émetteur	

Situation du point de mesure	Mesure Extérieur	<input type="checkbox"/>	Mesure Intérieur	<input type="checkbox"/>

Conditions climatiques de mesures	Sec	<input type="checkbox"/>	Humide	<input type="checkbox"/>
	Pluie	<input type="checkbox"/>	Brouillard	<input type="checkbox"/>

Matériel de mesure		
Analyseur de spectre/Récepteur	Type	
	modèle	
	bande	
	N° de série	
Antenne	Type	
	modèle	
	bande	
	Facteur	
	N° de série	
Sonde	Type	
	modèle	
	bande	
	N° de série	
GPS	Type	
	modèle	
	N° de série	
Atténuation du câble		

Equipe

Incertitudes

Sources d'erreur	Valeur d'incertitude (%)	Distribution de probabilité	Diviseur K dans le cas d'une information constructeur	c_i	Incertitude standard à 66% (%)
Appareillage de mesure					
Facteur d'antenne		Normale	K	1	
Isotropie		Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	
Linéarité		Rectangulaire ou normale	$\sqrt{3}$ ou k	1	
Dispositif de mesure		Normale	K	1	
Paramètres extérieurs					
Visée de la source		Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	
Rayleigh		Rectangulaire	$\sqrt{3}$	1	
Incertitude standard combinée		$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2}$			
Incertitude étendue (Intervalle de confiance de 95 %).		Normale			$u_e = 1,96u_c$

Résultats des Mesures

Graphes (en moyenne pendant de 6 min)	Tableau des mesures																	
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>f (MHz)</th> <th>V (dBμV)</th> <th>E (V/m)</th> <th>Elimite (V/m)</th> <th colspan="2">Rapport de conformité</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>						f (MHz)	V (dBμV)	E (V/m)	Elimite (V/m)	Rapport de conformité							
	f (MHz)	V (dBμV)	E (V/m)	Elimite (V/m)	Rapport de conformité													
Cas du GSM et des systèmes Trunk																		
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>f (MHz)</th> <th>Nombre de TRx/secteur</th> <th>E_{balise} (V/m)</th> <th>E_{extrapolé} (V/m)</th> <th>Elimite (V/m)</th> <th>Rapport de conformité</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>						f (MHz)	Nombre de TRx/secteur	E _{balise} (V/m)	E _{extrapolé} (V/m)	Elimite (V/m)	Rapport de conformité						
	f (MHz)	Nombre de TRx/secteur	E _{balise} (V/m)	E _{extrapolé} (V/m)	Elimite (V/m)	Rapport de conformité												

Effets cumulatifs

Pour les conditions d'effet thermique pour $f \geq 100\text{KHz}$:	$\sum_{i=100\text{ KHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \leq 1$	
	$\sum_{j=100\text{ KHz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \leq 1$	
Pour les effets de stimulation électrique, qui concernent des fréquences $f \geq 1\text{Hz}$:	$\sum_{i=1\text{ Hz}}^{1\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right) + \sum_{i>1\text{ Hz}}^{10\text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{a}\right) \leq 1$	
	$\sum_{j=1\text{ Hz}}^{65\text{ KHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right) + \sum_{j>65\text{ KHz}}^{10\text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{b}\right) \leq 1$	

Conclusion

Le champ est N fois plus inférieur que la valeur limite la plus inférieure.

ANNEXE 2- Niveaux de référence de l'ICNIRP 3KHz – 300 GHz

Une restriction de base est souvent inaccessible à la mesure. Dans la zone de champ lointain, c à d à quelques longueurs d'ondes de la source, des niveaux de référence sont déduits sur la base des modélisations mathématiques et de l'extrapolation des résultats des recherches effectuées dans les laboratoires. Ils sont formulés en terme d'intensités de champ électrique, magnétique et de densité de puissance en valeurs moyennes sur le corps entier.

Type d'exposition	Fréquence	Intensité Champs E (Vm ⁻¹)	Intensité Champs H (Am ⁻¹)	Champs B (µT)	Densité de puissance (Wm ⁻²)
Exposition des travailleurs	0.82 – 65 kHz	610	24.4	30.7	
	0.065 – 1 MHz	610	1.6/f	2.0/f	
	1 – 10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f	
	10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
	400 – 2000 MHz	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	0.01f ^{1/2}	f/40
	2 – 300 GHz	137	0.36	0.45	50
Exposition du public	0.8 – 3 kHz	250/f	5	6.25	
	3 – 150 kHz	87	5	6.25	
	0.15 – 1 MHz	87	0.73/f	0.92/f	
	1 – 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	0.92/f	
	10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
	400 – 2000 MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/200
	2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Tableau 3 : Niveaux de référence de l'ICNIRP

Remarques :

1. f tel qu'indiqué dans la colonne de la gamme de fréquences.
2. Pour des fréquences comprises entre 100 kHz et 10 GHz, la valeur moyenne de S_{eq} , E^2 , H^2 et B^2 doit être mesurée sur un intervalle de temps de six minutes.
3. Pour des fréquences supérieures à 10 GHz, la valeur moyenne de S_{eq} , E^2 , H^2 et B^2 doit être mesurée sur un intervalle de temps de $68/f$ 1.05 minute (f est exprimée en GHz).
4. Pour des fréquences jusqu'à 100 kHz, les valeurs de densité de courant de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces (rms) correspondantes par $\sqrt{2}$ (=1,414). Pour des impulsions de durée t_p , la fréquence équivalente à appliquer devrait être calculée selon la formule $f = 1 / (2 t_p)$.
5. Pour des fréquences comprises entre 100 kHz et 10 MHz, les valeurs de référence de crête sont obtenues par une interpolation de 1.5 fois la valeur efficace (rms) à 100kHz à 32fois la valeur efficace (rms) à 10MHz. Pour des fréquences supérieures à 10 MHz, les valeurs de référence de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces (rms) correspondantes par 32.
6. Pour des fréquences supérieures à 10 GHz, la valeur moyenne de S_{eq} , E^2 , H^2 et B^2 doit être mesurée sur un intervalle de temps de $68/f^{1.05}$ minute (f est exprimée en GHz).
7. Aucune valeur pour E n'est fournie pour des fréquences <1 Hz qui constituent dans les faits des champs électriques statiques. Pour la plupart des personnes, il n'y a pas de perception gênante des charges électriques superficielles pour des intensités de champ inférieures à 25 kV/m. Il conviendrait d'éviter des décharges d'étincelles provoquant un stress ou une gêne.

ANNEXE 3 : Description des Equipements de Mesure

Les équipements retenus pour effectuer ces mesures sont les suivants :

- **Analyseur de spectre ou récepteur de mesure associé à une antenne calibrée.**

Le choix des antennes dépend de la bande de fréquence et du type d'application. On distingue: les antennes recommandées sont les suivantes :

- La boucle magnétique pour les services HF
- Le dipôle électrique pour les signaux UHF
- l'antenne log-périodique, ...
- Les antennes « SHF »
- L'antenne cornet
-

- **La sonde de mesure de champ isotropique**

Ce type d'équipement effectue des mesures « isotropes », le défaut d'isotropie est spécifié par le constructeur de l'équipement, il est en général de l'ordre de 1dB.

La sensibilité est de l'ordre de 1 V/m. Au seuil de sensibilité, l'erreur est importante (Cf. la notice du constructeur), cependant, cet équipement est relativement précis en champ fort (proche des seuils de la recommandation du Conseil de l'Union Européenne).

Les mesures effectuées ne sont pas sélectives en fréquence, le niveau affiché est le résultat de la contribution d'un ensemble d'émetteurs, cet équipement ne permet pas de discriminer aisément la contribution d'un émetteur particulier.

Les résultats sont instantanés, l'affichage du niveau de champ électromagnétique est direct.

- D'autres **équipements complémentaires** seront utilisés lors du processus de mesure tel que le GPS, le téléphone mobile à trace, le télémètre, etc....

Tableaux et Illustrations

<i>Tableau 1- Services radioélectriques</i>	4
<i>Figure1 : Propagation d'une onde électromagnétique</i>	5
<i>Figure 2 : Point de mesure</i>	6
<i>Figure 3: Champ électrique résultant</i>	8
<i>Tableau 2: Evaluation de l'incertitude totale</i>	13
<i>Tableau 3 : Niveaux de référence de l'ICNIRP</i>	19