



Autorité de Régulation des
Télécommunications et des Postes

PROTOCOLE D'ÉVALUATION DES RAYONNEMENTS NON-IONISANTS (100 kHz - 300 GHz)

Ayant pour objet l'élaboration d'un cadre protocolaire et normatif d'évaluation des niveaux de rayonnements non-ionisants, à la demande des personnes physiques et morales, ou pour les besoins de campagnes nationales ou de contrôle ponctuel sur des sites radioélectriques.

REVISIONS

Version	Date	Nature des révisions
V0	Décembre 2019	<ul style="list-style-type: none"> • Création du document
V1	Février 2021	<ul style="list-style-type: none"> • Ajout de la procédure de mesure • Mise à jour des directives de l'ICNIRP • Ajout des restrictions de base • Révision des niveaux de référence nationale • Ajout procédure d'évaluation des bandes de fréquence • Ajout du calcul d'incertitude

DRAFT



SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	5
II. OBJECTIFS DU PROTOCOLE	5
III. PROCEDURE GENERALE D’EVALUATION DES NIVEAUX RNI	6
IV. RAPPEL DES CONCEPTS	7
1. L’onde électromagnétique.....	7
2. L’élément rayonnant	10
3. Les puissances des stations, terminaux et équipements	10
4. Spectre RF et Applications	11
V. NORMES ET DOCUMENTS DE REFERENCE	12
1. Restrictions de base	14
2. Niveaux de référence.....	15
VI. EVALUATION DE L’EXPOSITION AUX RF : 100 KHZ-300 GHZ	16
1. Analyse du site	16
2. Périmètre de sécurité	17
3. Processus de mesures.....	18
4. Mesures, extrapolation et Calcul d’incertitudes	20
a. Extrapolation.....	20
b. Incertitude des mesures	21
5. Détermination des limites d’expositions	21
6. Rapports.....	22
VII. TERMES ET DEFINITIONS.....	23
VIII. ANNEXES :	26

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification zone de champs proche et lointain.....	8
Tableau 2: Caractéristiques d'une station de base.....	11
Tableau 3: Nomenclature bandes de fréquences et longueurs d'ondes.....	12
Tableau 4: Normes et recommandations de référence	13
Tableau 5: Restrictions basiques DAS, J et S pour une exposition supérieur ou égale à 6 mins (ICNIRP 2020)	14
Tableau 6: Restrictions basiques DAS, J et S pour une exposition inférieur à 6 mins (ICNIRP 2020)	14
Tableau 7: Niveaux de référence (ICNIRP 2020).....	15
Tableau 8: Conductivité et permittivité du sol et de la mer.....	17
Tableau 9: Expressions pour le calcul des distances minimales autour des stations d'émission	17
Tableau 10: Canal d'estimation du canal de référence	20

Liste des figures

Figure 1 : Procédure administrative et technique de l'évaluation des niveaux RNI.....	6
Figure 2 : Propagation d'une onde électromagnétique	7
Figure 3 : Procédure d'évaluation des bandes de fréquences.....	18

I. INTRODUCTION

Le présent document décrit la méthodologie et le processus d'évaluation des rayonnements non ionisants en vue d'encadrer et de surveiller les niveaux d'exposition aux champs électromagnétiques. Ce protocole s'applique pour l'évaluation des niveaux de référence des champs électromagnétiques pour des fréquences de 100 kHz à 300 GHz, et expose la procédure de mesure à suivre.

II. OBJECTIFS DU PROTOCOLE

Le développement considérable de l'utilisation du spectre radioélectrique a entraîné la multiplication des sources d'émissions de champs électromagnétiques.

Les stations radioélectriques des réseaux mobiles communiquent avec les téléphones portables ou d'autres terminaux mobiles utilisant des ondes radio. Les antennes des stations de base doivent être installées de telle manière que l'exposition aux ondes radio dans les lieux publics soit nettement inférieure aux valeurs limites de sécurité établies, avec un ratio de protection de l'ordre de 2. Le présent document a pour objectif de décrire le protocole de mesures retenu par l'Autorité de régulation du Sénégal pour l'application du décret n° 2019-1877 du 11 novembre 2019.

La **Loi n° 2018-28** du 12 décembre 2018, en son **article 148** stipule que :

« L'exploitation d'installation et d'équipements radioélectriques doit se faire en tenant compte des prescriptions liées à la protection du public par rapport aux champs électromagnétiques et notamment aux rayonnements non-ionisants. Tout exploitant de réseau de communications électroniques et d'installations ou d'équipements radioélectriques est tenu de se conformer aux valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques. L'Autorité de régulation s'assure du respect des dispositions de cet article. »

Le présent protocole traite des mesures nécessaires pour vérifier le respect des niveaux de référence pour les champs électromagnétiques pour des fréquences allant de 100 kHz à 300 GHz, sur les stations radioélectriques dédiées aux applications et technologies de la téléphonie mobile, des réseaux locaux radioélectriques, de la radiodiffusion et des réseaux privés indépendants. Les champs basses fréquences de 0 Hz à 100 kHz ne sont pas traités par le présent document. Toutefois, les principes du protocole peuvent être appliqués à partir de 9 kHz avec une chaîne de mesures appropriée.

Le processus adopté suit la démarche suivante :

- ➔ L'analyse du site ;
- ➔ La définition du périmètre de sécurité ;
- ➔ Le relevé des niveaux de champs électromagnétiques et du calcul des incertitudes associées ;
- ➔ Les niveaux relevés et, le cas échéant pour certaines catégories de réseaux, extrapolés, sont ensuite comparés aux niveaux de référence ;
- ➔ La détermination des limites d'exposition ;
- ➔ Le rapport.

Les limites de niveaux de rayonnements Non-Ionisants et les restrictions basiques, les modèles de demande d'évaluation et les fiches de relevés sont annexés à ce protocole de mesures.

III. PROCEDURE GENERALE D'ÉVALUATION DES NIVEAUX RNI

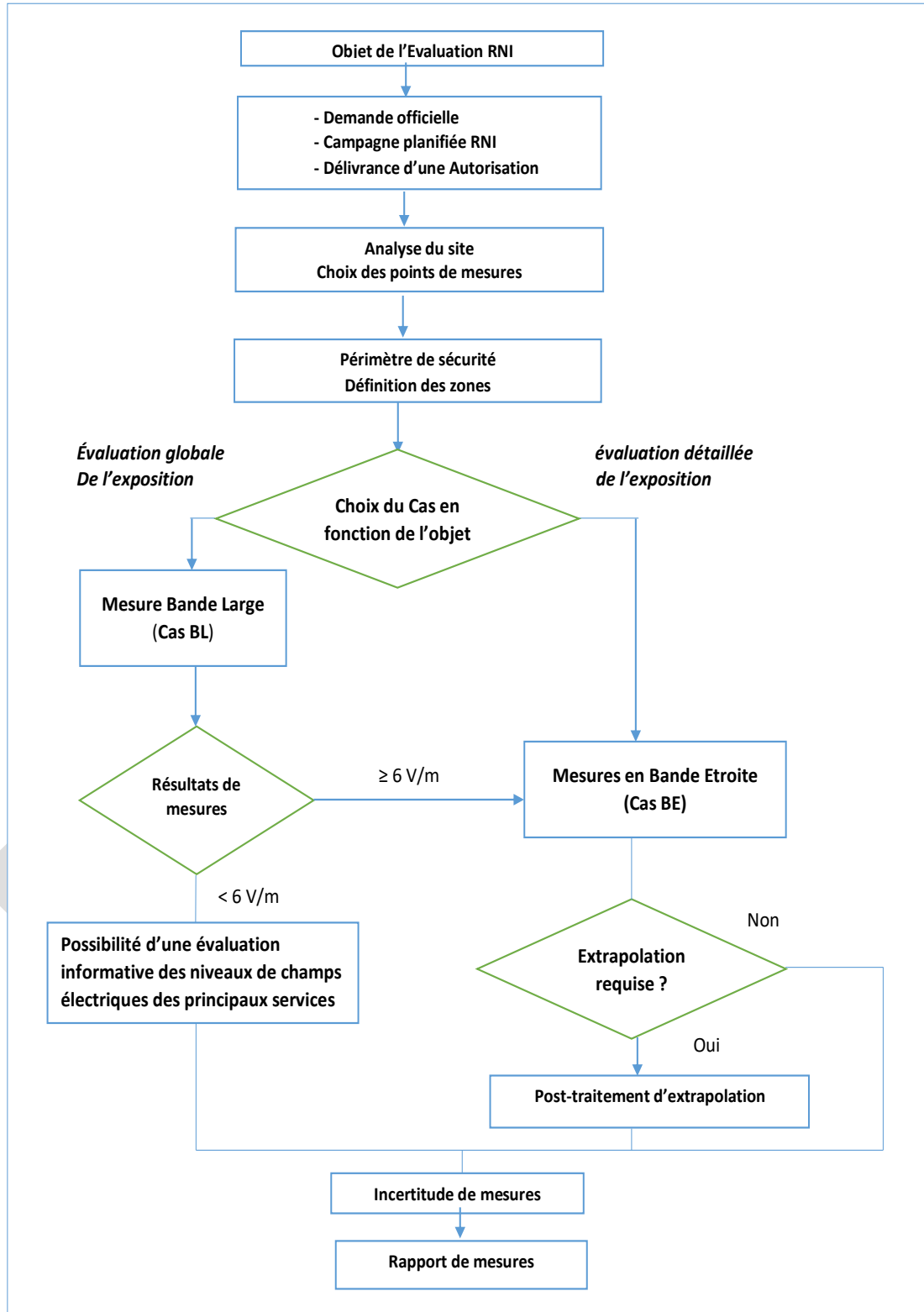


Figure 1: Procédure administrative et technique de l'évaluation des niveaux RNI

IV. RAPPEL DES CONCEPTS

Dans le cadre de l'élaboration de ce protocole, il importe de rappeler les concepts fondamentaux de la propagation des ondes, le vocabulaire adéquat et les concepts de la biologie électromagnétique. Il s'agit de rappeler les grandeurs physiques, les lois fondamentales sur l'énergie et la puissance électromagnétiques, les bandes de fréquences radioélectriques et les applications ou technologies correspondantes.

1. L'onde électromagnétique

Une onde électromagnétique est la résultante de la génération de champs électriques et magnétiques d'une antenne rayonnante alimentée par l'émetteur d'une station radioélectrique. Le graphe suivant présente une onde électromagnétique plane à polarisation horizontale et verticale.

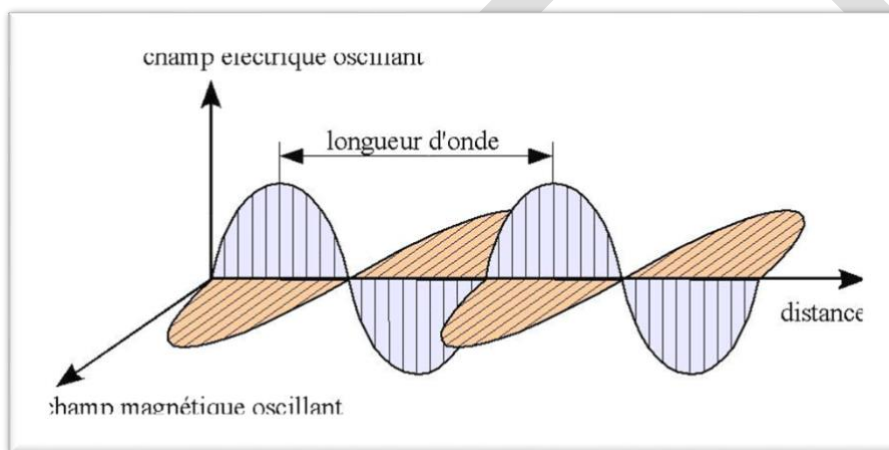


Figure 2: Propagation d'une onde électromagnétique

La propagation de l'onde fait appel, pour sa compréhension et sa conceptualisation, à plusieurs phénomènes (réflexion, réfraction, diffraction, diffusion et dispersion) dépendant des bandes de fréquence d'émission et des propriétés physico-chimiques de l'environnement de propagation. Les grandeurs physiques à rappeler sont :

- L'indice de réfraction (n) : variable selon la permittivité (ϵ) et la perméabilité (μ) du milieu de propagation ;
- Le champ électrique (E) : généré par la présence de charges électriques et qui excite une antenne filaire ;
- Le champ magnétique (H) : généré par le déplacement de ces charges électriques et qui excite une antenne cadre ;
- Le vecteur de Poynting (R) : résultante du produit vectoriel entre les champs électrique et magnétique, correspondant à la densité surfacique de puissance du signal ;
- La longueur d'onde (λ) : liée à la vitesse de propagation et à la fréquence du signal ;
- Les pertes en espaces libre (A_0) : correspondantes à l'affaiblissement de parcours de l'onde et dépendant de la fréquence et de la distance à la source d'émission ;

- La puissance isotrope rayonnée équivalente (**PIRE**) : Produit du gain (**Ge**, gain par rapport à une source isotropique) de l'antenne avec la puissance (**Pe**) qui lui est appliquée à l'émission.

En champ lointain, le champ électrique (E) et le champ magnétique (H) sont reliés par la relation suivante :

$$\frac{E}{H} = Z_0 \text{ (Impédance d'onde = 377 Ohm)}$$

	Champ Proche		Champ Lointain
	Région I	Région II	Région III
Bords latéraux de la région, mesurés à partir de l'antenne où λ longueur d'onde D plus grande dimension de l'antenne.	$[0 ; D^2/2\lambda]$	$[D^2/2\lambda ; 2D^2/\lambda]$	$\geq 2 D^2/\lambda$
$E \perp H$	Non	Réellement oui	Oui
$Z = E/H$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$
Composante à Mesurer	E et H	E ou H	E ou H
Commentaires	Dans cette région, les champs E et H doivent être mesurés tous les deux	Le diagramme d'antenne conforme aux spécifications du fabricant n'est pas encore valable	Conditions de champ lointain
		Dans les régions II et III, on peut mesurer E ou H.	

Tableau 1: Classification zone de champs proche et lointain

L'impédance d'onde dépend des propriétés physico-chimiques du milieu de propagation qui permettent d'établir les relations suivantes :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \times \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \times \vec{H}$$

Où D est le déplacement électrique et B est l'induction magnétique.

La densité surfacique de puissance S est calculée par la formule suivante :

$$S = E \times H$$

Le débit d'absorption spécifique (DAS) est la norme qui indique la conformité d'un terminal mobile par rapport à l'exposition des personnes aux radiations électromagnétiques.

$$\mathbf{DAS} = \frac{\sigma \times \mathbf{E}^2}{\rho}$$

Où σ est la conductivité locale du corps humain exprimée en Siemens par mètre (S/m) où ρ la masse volumique est exprimée en kg/m^3

Le débit d'absorption spécifique (Specific Absorption Rate SAR, en anglais) peut être aussi calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{DAS} = \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{E}}{\rho}$$

Où J est la densité surfacique de courant qui s'exprime en A/m^2

Nous rappelons ici les quatre équations de Maxwell qui permettent mathématiquement de faire ressortir les relations qui existent entre les grandeurs physiques qui régissent les phénomènes de la génération des ondes électromagnétiques et leur propagation dans un milieu donné.

L'équation de Maxwell Gauss $\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$

L'équation de Maxwell flux magnétique $\text{div } \vec{B} = 0$

L'équation de Maxwell Faraday $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

L'équation de Maxwell Ampère $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

On peut définir la vitesse comme étant la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu donné par :

$$\mathbf{v} = \frac{c}{\sqrt{\mu \times \epsilon}}$$

Où C est la célérité de la lumière et $\sqrt{\mu \times \epsilon}$ n'est rien d'autre que l'indice de réfraction du milieu de propagation.

Le vecteur de Poynting définit la quantité d'énergie par unité de surface et se calcule par :

$$\vec{R} = \vec{E} \wedge \vec{H}$$

2. L'élément rayonnant

L'antenne est l'interface entre le système de communications et l'environnement de propagation (espace libre et autres obstacles). L'antenne est le dispositif dont le rayonnement génère des signaux sous forme d'ondes électromagnétiques. Il convient de distinguer le champ électromagnétique, nom générique donné aux champs électrique et magnétique, de la radiation qui est réservée aux signaux radioélectriques de fréquence au-delà de 10 MHz.

Les grandes familles d'antennes sont :

- ➔ Les antennes filaires (dipôle, monopôle, Yagi),
- ➔ Les antennes à fentes (demi ou quart d'onde),
- ➔ Les antennes patchs (planaires),
- ➔ Les antennes à ouverture (cornet),
- ➔ Les antennes à réflecteurs (paraboles).

Dans le cadre du champ objectif et applicatif de ce protocole, à savoir les niveaux d'exposition aux ondes électromagnétiques, on peut retenir parmi les paramètres caractéristiques des antennes : le gain, la directivité, la bande passante et le diagramme de rayonnement.

3. Les puissances des stations, terminaux et équipements

Le chapitre V de la Loi sur les communications électroniques porte sur les « Agréments liés aux équipements de communications électroniques ». La fabrication, l'importation, la distribution et la commercialisation des systèmes radioélectriques sont encadrées par la réglementation nationale et sont régies par les articles 70 à 73 du code des communications électroniques. Les stations radioélectriques, les terminaux d'utilisateurs mobiles et les équipements de faible portée et faible puissance obéissent à des normes. Dans le cadre des procédures d'agrément et d'homologation, les certificats et déclarations de conformité des matériels radioélectriques, importés ou produits au Sénégal, sont requis. La liste des équipements homologués, selon des normes internationales, régionales et nationales, est actualisée, rendue publique annuellement et est consultable sur le site de l'Autorité de régulation.

La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (**PIRE**) est le produit entre le gain (**Ge**) de l'antenne d'émission et la puissance (**Pe**) injectée à l'entrée de l'antenne. La valeur théorique du champ électrique peut-être calculée par la formule :

$$E = \frac{\sqrt{30P}}{d} \quad \text{exprimé en V/m}$$

Où *d* est la distance entre la station émettrice et un point de mesures donné.

P est la puissance isotrope rayonnée équivalente exprimée en Watt [W].

La Puissance Apparente Rayonnée (**PAR**) est reliée à la PIRE par la formule :

$$\text{PAR} = \text{PIRE} - 2,15$$

Les terminaux portables ont une puissance d'émission maximale de **2 W** soit **33 dBm**.

Le tableau suivant présente ces données fondamentales à la simulation et au mesurage des niveaux de rayonnement électromagnétique.

Technologie	GSM 900	GSM 1800/ GSM 1900	GSM_R	DECT	W-CDMA/ UMTS	LTE	CDMA
Region	Monde	Monde	Monde	Région 1	Monde	Monde	
F_{DL}[MHz]	935-960	1805- 1880 1930- 1990	921 – 925	1880-1960	935-960 1930-1990 2110-2170 2620-2690	758 – 788 832 - 862 1820-1880 2300-2400 2620-2690 3400-3500 3500-3600	460 – 470 870 - 875
Puissance [W]	10-60	10-40			1-80 / porteuse		
Hauteur Antenne [m]	25-50	25-50		20-60	35-50		
Gain Antenne [dBi]	7.5-18	8-21		8.5-17.5	12-18		
VRP [V/V]	0.4-0.03	0.3-0.02		0.3-0.03	0.15-0.05		
VRP down tilt [°]	0-15	0-10		0-10	0-8		
PIRE [W]	100-800	30-800		2-10	800		

Tableau 2: Caractéristiques d'une station de base

4. [Spectre RF et Applications](#)

Le spectre des fréquences radioélectriques est réparti comme indiqué dans le tableau suivant :

Bandes	Fréquences	Subdivision métrique (longueur d'onde)	Abréviations métriques
ELF	30 – 300 Hz	Ondes mégamétriques	B.Mm
ULF	0.3– 3 kHz	Ondes hectokilométriques	B.hkm
VLF	3– 30 kHz	Ondes myriamétriques	B.Mam
LF	30– 300 kHz	Ondes kilométriques	B.km
MF	0.3 – 3 MHz	Ondes hectométriques	B.hm
HF	3 – 30 MHz	Ondes décamétriques	B.dam

VHF	30 – 300 MHz	Ondes métriques	B.m
UHF	0.3– 3 GHz	Ondes décimétriques	B.dm
SHF	3 – 30 GHz	Ondes centimétriques	B.cm
EHF	30 – 300 GHz	Ondes millimétriques	B.mm

Tableau 3: Nomenclature bandes de fréquences et longueurs d’ondes

L’UIT est l’institution spécialisée des Nations unies au sujet des technologies de l’information et de la communication. Elle est chargée, en particulier, de formuler des recommandations sur la normalisation en matière de radiocommunications (communications sans fil). L’UIT a établi un **règlement des radiocommunications (RR)** dans lequel les ondes hertziennes sont définies de la manière suivante : « ondes électromagnétiques dont la fréquence est par convention inférieure à 300 GHz, se propageant dans l’espace sans guide artificiel ».

Le spectre des fréquences radioélectriques, pour une utilisation efficace et rationnelle, est réparti entre des services, applications et technologies courantes pour les communications domestiques, industrielles, administratives et des applications électro-ménagères.

Dans l’environnement du Sénégal, on trouve principalement les réseaux ouverts au public, les réseaux privés indépendants et les réseaux de radiodiffusion sonore et télévisuelle. Les réseaux ouverts au public concernent les stations de base de la téléphonie mobile (**2G, 3G et 4G**). Les réseaux privés indépendants sont répartis entre les **Boucles Locales Radio (BLR)**, les Private Mobile Radio (**PMR**) et les **Very Small Aperture Terminal (VSAT)**. La radiodiffusion est répartie entre les stations **radio en modulation de fréquence (FM)** et la **Télévision Numérique Terrestre (TNT)**.

L’environnement radioélectrique peut être scindé en zones urbaine, suburbaine, rural, résidentielle et administrative.

V. NORMES ET DOCUMENTS DE REFERENCE

La normalisation a pour but dans le cadre de ce protocole, par des mesures prudentielles, de limiter et prévenir les éventuels effets nocifs des ondes électromagnétiques. Les recommandations se proposent, par des mesures conservatoires, de formuler à l’endroit des producteurs, des exploitants et opérateurs mais aussi pour le compte des usagers des directives pour la limitation des performances des appareils et installations.

La liste des normes et recommandations de référence est présentée dans le tableau suivant.

Normes	Intitulé
Articles 148 et 149	Loi N°2018-28 du 12 décembre 2018 portant Code des Communications électroniques du Sénégal
Articles 90 à 95	Décret N°2019-1877 du 11 novembre 2019 relatif aux fréquences radioélectriques
UIT-T K.52	Lignes directrices relatives aux valeurs limites d'exposition des personnes aux champs électromagnétiques;

UIT-T K.61	Orientations sur la mesure et la prévision numérique des champs électromagnétiques pour le respect des limites d'exposition humaine pour les installations de télécommunications.
UIT-T K.70	Techniques de limitation de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.
UIT-T K.83	Surveillance des niveaux des champs électromagnétiques
UIT-T K.90	Techniques d'évaluation et méthodes de travail à utiliser pour respecter les limites d'exposition du personnel des opérateurs de réseau aux champs électromagnétiques à la fréquence du secteur.
UIT-T K.91	Guide d'évaluation et de surveillance de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques radioélectriques.
UIT-T K.100	Mesure des champs électromagnétiques radiofréquence pour déterminer si les limites d'exposition des personnes sont respectées lorsqu'une station de base est mise en service.
UIT-T Résolution 176	Exposition des personnes aux champs électromagnétiques et mesure de ces champs.
EN 50492 (CENELEC)	Norme de base pour la mesure du champ électromagnétique sur site.
UIT- D Rapport de la question 23/1	Stratégies et politiques concernant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.
ICNIRP 1998 / 2020	Directives de la Commission Internationale pour la Protection des Personnes contre les Rayonnements Non Ionisants.

Tableau 4: Normes et recommandations de référence

La Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements Non-Ionisants (ICNIRP) à la demande de l'Organisation Mondiale pour la Santé, par le biais d'éminents chercheurs et experts aux compétences transversales, a publié les valeurs pour les restrictions de base et les niveaux de référence (pour les populations en général et les professionnels).

1. Restrictions de base

Les restrictions de base définissent les limites en termes de densité de courant (tête et tronc, J en A/m²) ; de Débit d’Absorption Spécifique (DAS exprimé en W/kg) concernant la tête, le tronc, les membres et le corps entier ; de Densité Surfaccique de Puissance (S en W/m²).

Elles sont résumées dans les tableaux suivants :

	Bande de Fréquence	DAS moyen Corps entier (W/kg)	DAS local (Tête et tronc) (W/kg)	DAS local (Membres) (W/kg)	S (W/m ²)
Travailleurs	100kHz ----6GHz	0.4	10	20	NA
	>6 ----300GHz	0.4	NA	NA	100
Public	100kHz ----6GHz	0.08	2	4	NA
	>6 ----300GHz	0.08	NA	NA	20

Tableau 5: Restrictions basiques DAS, J et S pour une exposition supérieur ou égale à 6 mins (ICNIRP 2020)

	Bande de Fréquences	DAS local (Tête et tronc) (kJ/kg)	DAS local (Membres) (kJ/kg)	S (kJ/m ²)
Travailleurs	100 kHz - 400 MHz	NA	NA	NA
	>400 MHz - 6 GHz	$3.6[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	$7.2[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$	NA
	>6 - 300 GHz	NA	NA	$36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
Public	100 kHz - 400 MHz	NA	NA	NA
	>400 MHz - 6 GHz	$0.72[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	$1.44[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$	NA
	>6 - 300 GHz	NA	NA	$7.2[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$

Tableau 6: Restrictions basiques DAS, J et S pour une exposition inférieur à 6 mins (ICNIRP 2020)

2. Niveaux de référence

Les niveaux de référence sont définis par la commission internationale pour la protection contre les rayonnements non-ionisants et doivent être respectés. Ces valeurs limites garantissent largement la sécurité des personnes par rapport aux ondes électromagnétiques. En effet les lignes directrices pour la protection des personnes exposées aux champs électromagnétiques émis par les systèmes de communications électroniques, sont élaborées sur la base des normes et recommandations internationales existantes relatives aux technologies électriques, électroniques et connexes. Les niveaux de référence pour les professionnels dans des bureaux, dans des sites de déploiement ou de maintenance de systèmes et dans les milieux industriels, protègent les travailleurs contre d'éventuels risques liés aux champs et radiations électromagnétiques.

Les nouvelles directives de l'ICNIRP version 2020 proposent deux variantes de niveaux de référence selon le temps d'exposition (supérieure ou inférieure à 6mins). Les tableaux suivants indiquent les niveaux édictés par la Commission.

	Bande de fréquence	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m)
TRAVAILLEURS	0.1 – 30 MHz	$1504/f_M^{0.7}$	$10.8/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	139	0.36	50
	>400 – 2000 MHz	$10.58f_M^{0.43}$	$0.0274f_M^{0.43}$	$0.29f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	200
	>6 – <300 GHz	NA	NA	$275/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	100
POPULATIONS	0.1 – 30 MHz	$671/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	62	0.163	10
	>400 – 2000 MHz	$4.72f_M^{0.43}$	$0.0123f_M^{0.43}$	$0.058f_M^{0.86}$
	>2 – 6 GHz	NA	NA	40
	>6 – 300 GHz	NA	NA	$55/f_G^{0.177}$
	300 GHz	NA	NA	20

Tableau 7: Niveaux de référence (ICNIRP 2020)

f_M - fréquence en MHz ; f_G - fréquence en GHz

Ces directives sont une base fondamentale pour l'établissement de seuils plus contraignants à l'échelle nationale, tout en garantissant les exigences de qualité de service en termes de couverture radioélectrique. A cet effet les résultats obtenus lors de la campagne nationale d'évaluation des niveaux RNI, permettent de retenir des valeurs conformes à la réglementation en vigueur et d'assister sur les techniques et procédures de travail pour le respect strict des normes retenues. Nous rappelons dans les rubriques suivantes les limites prescrites par l'Autorité de régulation.

Le ratio de protection, de l'ordre de 10 pour les travailleurs et de l'ordre de 2 pour le public, est appliqué. Les valeurs des niveaux de référence nationale sont disponibles à l'annexe 3.

VI. EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX RF : 100 KHZ-300 GHZ

1. Analyse du site

On procède d'abord à l'identification de toutes les émissions radiofréquences ou stations radioélectriques entre 100 kHz et 300 GHz, dans le périmètre de la zone faisant l'objet d'un contrôle de conformité à la réglementation nationale, aux directives communautaires et aux normes internationales.

Les sources, génératrices d'ondes électromagnétiques, peuvent être identifiées par une recherche visuelle, une consultation de bases de données (**SIGAF et stations de base des opérateurs**) telle que définit dans la norme **EN 50492**, ou par des mesures sélectives en fréquence à l'aide d'un analyseur de spectre. Si des sources sont identifiées, des mesures doivent alors être réalisées conformément aux normes applicables. Si l'emplacement à évaluer ne se situe pas dans le rayon principal d'antennes fonctionnant à des fréquences supérieures à 6 GHz, les champs produits par ces sources peuvent alors être généralement ignorés puisqu'ils ne sont dans la plupart des cas pas significatifs pour l'évaluation de l'exposition du corps humain.

L'analyse méthodique du site nécessite la collecte des informations suivantes :

- ➔ Heures d'exploitation
- ➔ Fréquences porteuses
- ➔ Puissances d'émission
- ➔ Polarisations
- ➔ Modulations
- ➔ Largeurs d'impulsion, taux de modulation, Fréquences de répétition
- ➔ Types d'antennes (directive, omnidirectionnelle etc.)
- ➔ Hauteur de l'antenne au-dessus du sol
- ➔ Orientation et rotation de l'antenne
- ➔ Diagramme de l'antenne, gain d'antenne
- ➔ Résultats de mesures de sources similaires
- ➔ Sources proches de la zone à examiner susceptibles d'influencer la mesure

- ➔ Accessibilité du site
- ➔ Topographie du site
- ➔ Conditions météo et environnementales : température (°C), humidité (%), nature du sol (humide, sec) et végétation.

Le tableau suivant donne les valeurs de la permittivité relative (ϵ_r) et de la conductivité (σ en S/m)

MILIEU	ϵ_r	σ
SOL SEC	4	10^{-3}
SOL HUMIDE	30	0,02
MER	80	4

Tableau 8: Conductivité et permittivité du sol et de la mer

2. Périmètre de sécurité

Le périmètre de sécurité doit être délimité, identifié et balisé par l’installateur (sous la responsabilité du permissionnaire détenteur de la licence ou de l’autorisation d’exploitation) de la station radioélectrique. Les tableaux suivants donnent les formules, selon la recommandation UIT-T K.70, qui permettent de calculer les distances de sécurité minimale par bande de fréquence pour le public et les professionnels.

Bande Fréquence RF	Exposition Du Public en Général		Exposition pour les professionnels	
1 à 10 MHz	$r = \frac{r}{0,10\sqrt{PIRE \times f}}$	$r = 0,129\sqrt{PAR \times f}$	$r = 0,0144 \times f \times \sqrt{PIRE}$	$r = 0,0184 \times f \times \sqrt{PAR}$
10 à 400 MHz	$r = 0,319\sqrt{PIRE}$	$r = 0,409\sqrt{PAR}$	$r = 0,143\sqrt{PIRE}$	$r = 0,184\sqrt{PAR}$
400 à 2000 MHz	$r = 6,38 \sqrt{\frac{PIRE}{f}}$	$r = 8,16 \sqrt{\frac{PAR}{f}}$	$r = 2,92 \sqrt{\frac{PIRE}{f}}$	$r = 3,74 \sqrt{\frac{PAR}{f}}$
2000 à 300000 MHz	$r = 0,143\sqrt{PIRE}$	$r = 0,184\sqrt{PAR}$	$r = 0,0638\sqrt{PIRE}$	$r = 0,0819\sqrt{PAR}$

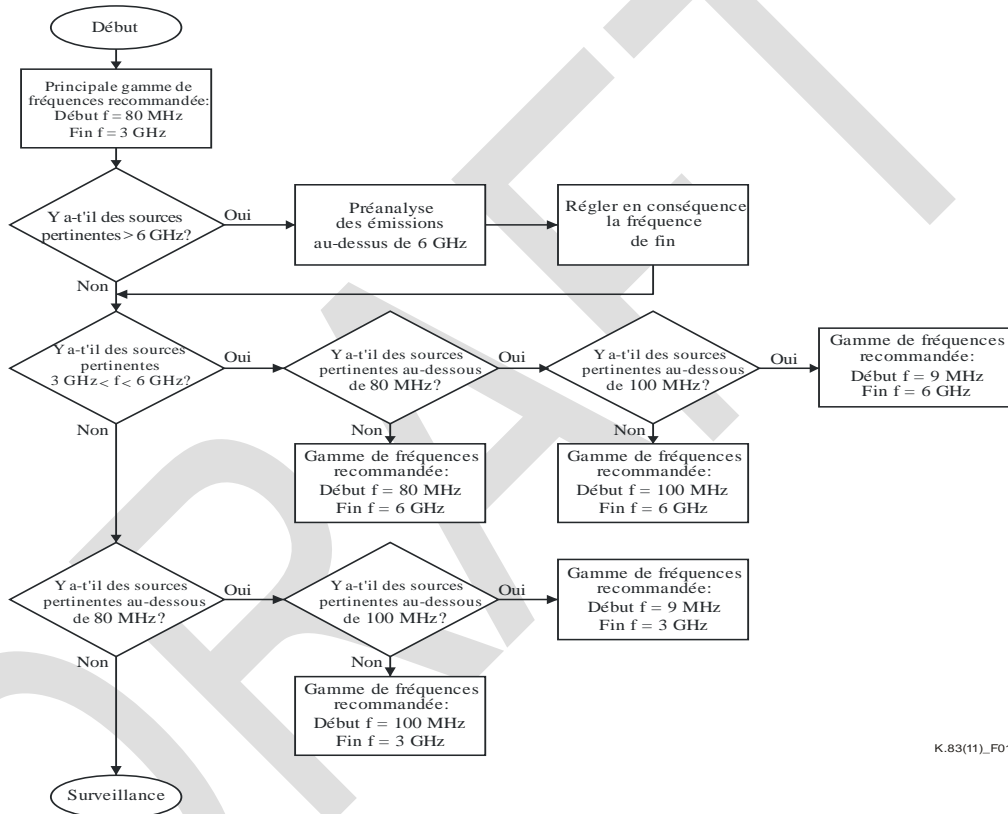
r est la distance de sécurité minimale par rapport à l’antenne [m].
f est la fréquence [MHz].
PAR est la puissance apparente rayonnée [W].
PIRE est la puissance isotropique rayonnée équivalente [W]

Tableau 9: Expressions pour le calcul des distances minimales autour des stations d’émission

Ces formules de calcul simplifiées montrent que pour la radiodiffusion sonore en FM et le WIFI, la distance de sécurité ne dépend pas de la fréquence mais de la puissance de l'émetteur et du gain de l'antenne. De 1 à 10 MHz la distance de sécurité augmente avec la fréquence. Contrairement à la bande 400 à 2000 MHz où la distance de sécurité diminue lorsque la fréquence augmente.

3. Processus de mesures

Toutes les sources RF permanentes fixes identifiées et fonctionnant entre 100 kHz et 6 GHz (au moins), doivent être prises en compte pour une mesure large bande.



K.83(11)_F01

Figure 3: Procédure d'évaluation des bandes de fréquences

Une première approche consiste à effectuer des simulations sous **SPECTRAemc** ou **EMF-Estimator**, qui vont générer des valeurs théoriques, susceptibles d'être comparées aux valeurs mesurées sur la chaîne de mesure. Cette étape permet notamment de déterminer le choix des bandes de fréquences à éventuellement analyser au-delà de 6 GHz. Sur site, la détermination des zones de mesure est précisée à partir :

- ➡ Des objectifs de la campagne de mesures,
- ➡ De l'expression de la demande,
- ➡ De la topologie des émetteurs présents et de leurs zones de rayonnement.

Une zone de mesure peut notamment correspondre à une habitation, un lieu ouvert au public (jardin public, ...), ou encore, pour un établissement recevant du public au sens de la

construction, les lieux de cet établissement accessibles au public (centre commercial, établissement scolaire, hôpitaux et bureaux, ...). Elle peut être raisonnablement élargie dès lors que l'accès est possible pour tous les lieux considérés lors de la mesure.

L'évaluation Large bande (BL) consiste à mesurer l'ensemble des contributions multi sources à l'aide d'une sonde isotropique (PROBE), placée au point de radiation maximale, à une hauteur comprise entre 130 et 170 cm.

Le cas particulier de la mesure à proximité d'une source de champs électromagnétiques (vérification d'un périmètre de sécurité par exemple) doit être traité avec beaucoup de précautions. En particulier le système de mesure doit être adapté aux niveaux d'énergie à contrôler. Par ailleurs, la proximité d'une source peut contraindre à la mesure des deux composantes du champ électromagnétique, à savoir les champs électrique et magnétique.

La détermination de la grandeur de champ à mesurer en fonction de la distance (Régions I, II, III) par rapport aux antennes sources doivent être notamment appliquées.

Le site de mesure étant clairement caractérisé, le processus de mesure peut être initialisé après avoir déterminé le point d'amplitude de champ maximale en utilisant le mode opératoire suivant :

- ➔ Déplacer manuellement et lentement la sonde à 1,5 m au-dessus du sol sur toute la surface accessible du site d'analyse. Maintenir la sonde le plus loin possible du corps. Noter les niveaux maximums de l'amplitude de champ en différents points ;
- ➔ Si plusieurs sondes sont nécessaires, répéter les mesures avec toutes les sondes et faire la somme des valeurs de densité de puissance équivalentes pour les différentes sondes, afin de trouver le point d'amplitude maximale. Il convient de ne pas utiliser, pour l'évaluation, les niveaux d'amplitude au-dessous du niveau de sensibilité de l'équipement ;
- ➔ Au point d'amplitude de champ maximale établi, il convient d'évaluer le niveau total d'exposition en utilisant des mesures de sonde soit sélectives en fréquence, soit à large bande.

Les résultats obtenus pour les points de mesure intermédiaires, relevés à une hauteur de 150 cm, doivent être consignés dans le rapport d'évaluation.

Dans le cas d'un équipement fixe qui fait l'objet d'une demande particulière (tel un objet connecté, un compteur communicant par exemple), une évaluation intermédiaire sera déterminée en moyenne sur 6 minutes sur la bande de fréquences de l'équipement, à une distance projetée de 50 cm la plus proche de l'équipement, dans la plage de hauteur de 1m10 à 1m70.

Pour un équipement situé à une hauteur en dessous de 1m10 elle sera mesurée à une hauteur de 1m10, et pour une hauteur de l'équipement au-delà de 1m70, l'exposition sera mesurée à une hauteur de 1m70.

La valeur moyenne du champ électromagnétique sur 6 minutes pourra être évaluée sur tous les axes. Les valeurs instantanées maximales seront indiquées à titre informatif. Une configuration différente pourra être utilisée en cas de demande ou contrainte particulière tout en respectant une distance minimale de 20 cm.

Dans le cas où la valeur moyenne quadratique du champ résultant d'une ou de plusieurs sources est supérieure à 6 V/m, il devient nécessaire de procéder à une mesure en bande étroite,

plus sélective afin d’analyser la contribution des différentes stations émettrices. Ces mesures devront être répétées sur différentes hauteurs : 110 cm, 150 cm et 170 cm. La valeur moyenne spatiale sera calculée à partir des résultats obtenus.

Ces valeurs devront être comparées avec les limites, classées par bandes de fréquences et grandeurs physiques, contenues dans le tableau des niveaux de référence nationale.

4. Mesures, extrapolation et Calcul d’incertitudes

Les mesures durent six (6) minutes et sont effectuées avec des équipements, permettant de couvrir les bandes de fréquences couramment utilisées au Sénégal. Le choix des filtres de l’analyseur du spectre (RBW, VBW, SPAN, SWT) s’effectue selon les bandes de fréquences et technologies dont on évalue les niveaux de radiations ou de champs électromagnétiques rayonnés. La configuration doit être en adéquation avec les caractéristiques (modulation, largeur de bande) appropriées des signaux à analyser.

La fréquence centrale doit correspondre à la fréquence du canal de signalisation dans le cas de la téléphonie mobile ou de la porteuse dans le cas de la radiodiffusion ou des réseaux locaux radioélectriques. L’analyseur de spectre doit être paramétré en mode **détecteur de crête** et en **maxHold**.

a. Extrapolation

L’extrapolation consiste à évaluer l’amplitude du champ électromagnétique à puissance maximale d’un réseau radioélectrique (réseau de téléphonie mobile par exemple). L’extrapolation n’est requise que si le résultat de la mesure large bande est supérieur à 6 V/m ou dans le cas d’une demande particulière.

Les résultats obtenus, en téléphonie mobile, sont extrapolés pour tenir compte de l’intensité de trafic maximal, selon les recommandations en vigueur.

Quelle que soit la technologie, le principe est de mesurer des signaux de signalisation qui sont émis à puissance constante et qui permet d’accéder à la puissance maximale par calcul à l’aide de la formule suivante :

$$E_{max} = E_{pilote} \sqrt{\frac{P_{total}}{P_{pilote}}}$$

Technologies	Canal de signalisation
2G (GSM)	Canal du pilote (BCCH)
3G (UMTS)	Canal du pilote commun de la station de base (CPICH)
4G (LTE)	Signal de référence RS et le signal de synchronisation S-SYNC ou le canal PBCH

Tableau 10: Canal d’estimation du canal de référence

b. Incertitude des mesures

Les incertitudes doivent être fournies dans le rapport. On peut obtenir les contributions à l'incertitude totale de la mesure grâce aux mesures appropriées effectuées sur l'équipement, ou d'après les spécifications du constructeur, qui peuvent être considérées comme des tolérances, avec distribution rectangulaire.

Les contributions de chaque composante d'incertitude peuvent être enregistrées avec leur nom, leur distribution de probabilité, leur coefficient de sensibilité et leur valeur d'incertitude. Les résultats seront présentés suivant le modèle du Tableau d'évaluation de l'incertitude sur site en annexe.

L'incertitude cumulée doit alors être évaluée à l'aide de la formule suivante :

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 * U_i^2}$$

où c_i est le coefficient de pondération (coefficient de sensibilité).

L'incertitude élargie doit être évaluée au moyen d'un intervalle de confiance (IC) de 95%. Le facteur de couverture à employer est 1,96, à savoir celui fourni par l'intervalle de confiance de 95% dans le cas de la distribution quasi normale type associée à la plupart des résultats de mesure.

Le Tableau donne des directives pratiques pour l'établissement d'un bilan d'incertitude pour les mesures du champ électromagnétique. Il peut y avoir d'autres incertitudes, qui ne sont pas indiquées dans la liste, et certaines des incertitudes énumérées peuvent ne pas être présentes ou significatives dans l'évaluation globale.

Les sondes et analyseurs de spectre introduisent une incertitude respectivement d'environ 6,9 dB et 5,6 dB.

5. Détermination des limites d'expositions

La mesure sur site permet de conclure sur le respect des niveaux de référence y compris lorsque plusieurs équipements ou installation radioélectriques sont à l'origine des champs électromagnétiques à des fréquences comprises entre 100 kHz et 300 GHz.

A partir des valeurs du champ calculées E_i , on calcule le ratio total d'exposition (TER) pour toute la gamme de fréquences :

Dans le cas des lignes directrices de la CIPRNI, le critère du ratio total d'exposition (TER) désigne les effets de la stimulation électrique ($a = 87 \text{ V/m}$; E_l est la limite dépendant de la fréquence) :

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{li}} + \sum_{i=1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

Le critère du ratio total d'exposition désigne des conditions d'effets thermiques ($c = 87/f^{1/2}$ V/m, El est la limite dépendant de la fréquence) :

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

6. Rapports

Le rapport de mesure sera transmis aux différents ministères de la santé, de l'environnement, de l'économie numérique et publié sur le site web de l'Autorité de Régulation pour la mise à disposition du public pour les campagnes nationales.

Pour les demandes particulières, le rapport sera transmis au service demandeur et publié sur le site web de l'Autorité de Régulation.

Les incertitudes de mesure devront être évaluées en pourcentage et intégrées aux rapports de mesure.

VII. TERMES ET DEFINITIONS

Absorption. En matière de propagation des ondes radioélectriques, atténuation d'une onde radio par dissipation de son énergie, c'est-à-dire par transformation en une autre forme d'énergie, par exemple en chaleur.

Absorption spécifique (AS). Energie absorbée par unité de masse de tissu biologique ; elle s'exprime en joules par kilogramme ($J.kg^{-1}$) ; l'absorption spécifique est l'intégrale sur le temps du débit d'absorption spécifique.

Barrière hémato-encéphalique. Concept fonctionnel élaboré pour expliquer la raison pour laquelle de nombreuses substances transportées par le sang pénètrent facilement dans d'autres tissus sans pénétrer dans le cerveau ; cette « barrière » fonctionne comme s'il s'agissait d'une membrane continue doublant le système cérébrovasculaire. Ces cellules de l'endothélium capillaire cérébral forment une barrière pratiquement continue qui fait obstacle à la pénétration de substances dans le cerveau à partir du système vasculaire.

Champ lointain. Région dans laquelle la distance à une antenne émettant un rayonnement est supérieure à la longueur d'onde du champ électromagnétique rayonné ; en champ lointain, les composantes du champ (E et H) sont perpendiculaires à la direction de propagation, et la géométrie du champ est indépendante de la distance à la source.

Champ proche. Région dans laquelle la distance à une antenne émettant un rayonnement est inférieure à la longueur d'onde du champ électromagnétique rayonné. Note : L'intensité de champ magnétique multipliée par l'impédance de l'espace traversé n'est pas égale à l'intensité de champ électrique et, à des distances à l'antenne inférieures au dixième de la longueur d'onde, ces grandeurs varient en raison inverse du carré ou du cube de la distance si l'antenne est petite comparée à cette distance.

Conductance. Inverse de la résistance ; elle s'exprime en siemens (S).

Conductivité électrique. Grandeur scalaire ou vectorielle qui, lorsqu'elle est multipliée par l'intensité de champ électrique, donne la densité du courant de conduction ; c'est l'inverse de la résistivité. Elle s'exprime en siemens par mètre ($S.m^{-1}$).

Constante diélectrique. Voir Permittivité.

Débit d'absorption spécifique (DAS). Débit d'absorption d'énergie dans les tissus biologiques ; il s'exprime en watts par kilogramme ($W.kg^{-1}$) ; le DAS est la grandeur dosimétrique couramment adoptée pour les fréquences supérieures à 100 kHz.

Densité de courant. Vecteur dont l'intégrale sur une surface donnée est égale au courant passant à travers cette surface ; dans un conducteur linéaire, la densité de courant moyenne est égale au courant divisé par la section transversale de ce conducteur. La densité de courant s'exprime en ampères par mètre carré ($A.m^{-2}$).

Densité de flux magnétique (B). Grandeur vectorielle de champ B qui produit une force agissant sur une ou plusieurs charges en mouvement ; elle s'exprime en teslas (T).

Densité de puissance. En matière de propagation des ondes radioélectriques, puissance traversant une unité de surface perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde ; elle s'exprime en watts par mètre carré ($W.m^{-2}$).

Dosimétrie. Mesurage ou calcul de l'intensité du champ électrique interne, de la densité de courant induit, de l'absorption spécifique ou de la distribution des débits d'absorption spécifique chez l'être humain ou l'animal exposé à des champs électromagnétiques.

Effet non thermique. Tout effet autre que thermique de l'énergie électromagnétique sur le corps.

Energie électromagnétique. Energie accumulée dans un champ électromagnétique ; elle s'exprime en joules (J).

Exposition professionnelle. Toute exposition à des champs électromagnétiques au cours du travail.

Exposition de la population générale. Toute exposition à des champs électromagnétiques d'individus appartenant au grand public, à l'exclusion de l'exposition professionnelle et de l'exposition au cours d'un acte médical.

Fréquence. Nombre de cycles sinusoïdaux accomplis par une onde électromagnétique en une seconde ; elle s'exprime habituellement en hertz (Hz).

Impédance d'onde. En notation complexe, rapport de la composante transversale du vecteur champ électrique à celle du vecteur champ magnétique en un même point ; il s'exprime en ohms (Ω).

Intensité de champ électrique. Force E s'exerçant sur une unité de charge positive stationnaire en un point d'un champ électrique ; elle s'exprime en volts par mètre ($V.m^{-1}$).

Intensité de champ magnétique. Grandeur vectorielle axiale H qui, avec la densité de flux magnétique, définit un champ magnétique en un point quelconque de l'espace ; elle s'exprime en ampères par mètre ($A.m^{-1}$).

Longueur d'onde. Distance, dans la direction de propagation d'une onde périodique, entre deux points successifs où la phase est la même.

Micro-ondes. Rayonnement électromagnétique de longueur d'onde assez courte, pour la transmission et la réception duquel on peut utiliser les guides d'onde et les cavités associées.

Note : Ce terme est pris dans l'acception suivante : rayonnements ou champs dont le domaine de fréquences est compris entre 300 MHz et 300 GHz.

Onde continue. Onde dont les oscillations successives sont identiques en régime stable.

Onde plane. Onde électromagnétique telle que les vecteurs champ électrique et champ magnétique se trouvent dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, et que l'intensité de champ magnétique multipliée par l'impédance de l'espace traversé est égale à l'intensité de champ électrique.

Perméabilité magnétique. Grandeur scalaire ou vectorielle qui, multipliée par l'intensité de champ magnétique, donne la densité de flux magnétique ; elle s'exprime en henrys par mètre ($H.m^{-1}$). Note : En milieu isotrope, la perméabilité magnétique est un scalaire ; en milieu anisotrope, c'est un tenseur.

Permittivité. Constante qui définit l'influence d'un milieu isotrope sur les forces d'attraction ou de répulsion entre corps électrisés ; elle s'exprime en farads par mètre ($F.m^{-1}$) ; la permittivité relative est la permittivité d'un matériau ou d'un milieu divisé par la permittivité du vide.

Profondeur de pénétration. Pour un champ électromagnétique en ondes planes, incident à la limite d'un bon conducteur, la profondeur de pénétration de l'onde est la profondeur à laquelle l'intensité de champ de l'onde se trouve réduite à $1/e$, soit approximativement à 37 % de sa valeur d'origine.

Radiofréquence (RF). Toute fréquence à laquelle le rayonnement électromagnétique peut être utilisé en télécommunication. Note : Pour les besoins du présent guide, il s'agit du domaine de fréquences compris entre 300 Hz et 300 GHz.

Rayonnement non ionisant (RNI). Tous les rayonnements et champs du spectre électromagnétique qui n'ont normalement pas assez d'énergie pour provoquer l'ionisation de la matière ; ce rayonnement se caractérise par une énergie par photon inférieure à 12 eV environ, des longueurs d'onde supérieures à 100 nm et des fréquences inférieures à 3×10^{15} Hz.

Résonance. Variation d'amplitude se produisant lorsque la fréquence de l'onde tend vers ou coïncide avec une fréquence naturelle du milieu ; l'absorption des ondes électromagnétiques par le

corps entier atteint sa plus forte valeur, c'est-à-dire la résonance, pour des fréquences (en MHz) correspondant approximativement à $114/L$, L étant la taille de la personne en mètres.

Valeur efficace (valeur rms). Certains effets électriques sont proportionnels à la racine carrée de la moyenne des carrés d'une fonction périodique (sur une période). Cette valeur est appelée valeur efficace, ou moyenne quadratique (rms), puisqu'elle est obtenue d'abord par mise au carré de la fonction, puis détermination de la moyenne des carrés obtenus, et enfin extraction de la racine carrée de cette moyenne.

Zone urbaine. Où l'on rencontre des nano-cellules avec une forte densité de stations radioélectriques notamment des stations de base de la téléphonie mobile.

Zone suburbaine. Où l'on trouve des micro-cellules avec une moyenne densité de stations de base.

Zone rurale. Où l'on rencontre des macro-cellules avec une faible densité de stations de base.

Zone résidentielle. A l'intérieur des maisons où sont installés des amplificateurs de signaux de la téléphonie mobile.

Zone administrative. Dans les bureaux où on a une utilisation d'équipements bureautiques.

DRAFT

VIII. ANNEXES :

Annexe 1 : Chaines et Accessoires de mesures

Le tableau suivant récapitule les composantes d'une chaîne de mesure de Rayonnements Non-Ionisants ainsi que les accessoires et outils complémentaires.

DESIGNATION	USAGE
Mobile à trace	Cell ID, LAC, TAC, BSIC, BCCH, CPICH, PBCH, RxLev, RSCP, RSRP, PSC, PCI, ARFCN, UARFCN, EARFCN
GPS	Coordonnées Géographiques (WGS84)
Télémètre	Distance entre source et point de mesure
Thermomètre	Température
Hygromètre	Humidité
Appareil Photo	Prise de vue
Trépieds	Support chaines de mesures
Sonde Isotrope	Mesure de champ électromagnétique
Analyseurs de spectre	Analyse spectrale des signaux
Récepteurs	Réception et décodage
Jeu d'antennes	Adaptation selon la bande de fréquence

Annexe 2 : Restrictions basiques nationales DAS

Restrictions basiques nationales DAS, pour une exposition supérieure ou égale à 6 mins

	Bande de Fréquence	DAS moyen Corps entier (W/kg)	DAS local (Tête et tronc) (W/kg)	DAS local (Membres) (W/kg)
Travailleurs	100kHz ----6GHz	0.4	10	20
Public	100kHz ----6GHz	0.08	2	4

Restrictions basiques DAS pour une exposition inférieure à 6 mins

	Bande de Fréquences	DAS local (Tête et tronc) (kJ/kg)	DAS local (Membres) (kJ/kg)
Travailleurs	>400 MHz - 6 GHz	$3.6[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	$7.2[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$
Public	>400 MHz - 6 GHz	$0.72[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$	$1.44[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$

Annexe 3 : Niveaux de référence nationale par service RF

Le tableau suivant récapitule les limites d'Exposition par bandes et systèmes de communications.

	Bandes de Fréquence	Service	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m²)
TRAVAILLEURS	87.5 - 108	FM	14	0,04	5
	136 - 174	TV Bande III	14	0,04	5
	380 - 470	PMR	14	0,04	5
	470 - 862	TNT	14	1,30	17,2
	700	LTE	14	1,30	17,2
	800	LTE	14	1,30	17,2
	900	GSM / GSM-R	14	1,30	17,2
	1800	GSM / LTE	14	1,30	17,2
	2100	UMTS	NA	NA	20
	2300	LTE	NA	NA	20
	2450	Wifi 2.45 GHz	NA	NA	20
	2600	LTE	NA	NA	20
	3400	BLR	NA	NA	20
	3500	LTE	NA	NA	20
5150	Wifi 5 GHz	NA	NA	20	
POPULATIONS	87.5 - 108	FM	31	0,08	5
	136 - 174	TV Bande III	31	0.08	5
	380 - 470	PMR	31	0.08	5
	470 - 862	TNT	6.6	6.6	86
	700	LTE	1,36.6	1,36.6	17,286
	800	LTE	6.6	6.6	86
	900	GSM / GSM-R	6.6	6.6	86
	1800	GSM / LTE	6.6	6.6	86
	2100	UMTS	NA	NA	20
	2300	LTE	NA	NA	20
	2450	Wifi 2.45 GHz	NA	NA	20
	2600	LTE	NA	NA	20
	3400	BLR	NA	NA	20
	3500	LTE	NA	NA	20
5150	Wifi 5 GHz	NA	NA	20	

Annexe 4 : Tableau d'évaluation de l'incertitude sur site

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		
Isotropie			Rectangulaire ou normale		
Linéarité			Rectangulaire ou normale		
Dispositif de mesure			Normale		
Paramètres extérieurs					
Visée de la source			Rectangulaire		
Rayleigh			Rectangulaire		
Incertitude standard combinée			$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 * U_i^2}$		
Incertitude étendue (Intervalle de confiance de 95 %)			Normale		$u_e = 1,96u_c$