

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2421-0
(06/2018)

**Rayonnements non désirés des systèmes de
radiocommunication numériques**

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2421-0

Rayonnements non désirés des systèmes de radiocommunication numériques

(2018)

Domaine d'application

On trouvera dans la présent Rapport des mesures des rayonnements non désirés pour un certain nombre d'équipements échantillons de systèmes de radiocommunication numériques et une comparaison de ces mesures avec:

- les limites des émissions hors bande données dans la Recommandation UIT-R SM.1541, dans des accords régionaux et/ou dans des publications des organisations de normalisation;
- les limites des rayonnements non essentiels données dans la Recommandation UIT-R SM.329, dans la Recommandation ERC/REC 74-01 et/ou dans des publications des organisations de normalisation.

Les frontières des émissions non désirées dues à la modulation dans ces mesures sont comparées avec les limites données pour la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels dans les publications de l'UIT-R.

Abréviations et acronymes

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
BCCH	canal de signalisation diffusé (<i>broadcast control channel</i>)
BS	station de base (<i>base station</i>)
BW	largeur de bande (<i>bandwidth</i>)
CEPT	Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications
D/A	numérique à analogique (<i>digital to analogue</i>)
DAB	radiodiffusion audionumérique (<i>digital audio broadcasting</i>)
DECT	télécommunications numériques améliorées sans cordon (<i>digital enhanced cordless telecommunications</i>)
DSP	processeur de signaux numériques (<i>digital signal processor</i>)
DSSS	étalement du spectre en séquence directe (<i>direct-sequence spread spectrum</i>)
DVB-T	radiodiffusion vidéo numérique de Terre (<i>digital video broadcasting – terrestrial</i>)
ECC	Comité des communications électroniques (<i>electronic communication committee</i>)
ERC	Comité européen des radiocommunications (<i>European Radiocommunications Committee</i>)
ETSI	Institut européen des normes de télécommunication (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
FDD	duplex par répartition en fréquence (<i>frequency division duplex</i>)
FSK	modulation par déplacement de fréquence (<i>frequency shift keying</i>)
GMSK	modulation par déplacement minimal de type gaussien (<i>gaussian minimum shift keying</i>)
GSM	système mondial de communications mobiles (<i>global system for mobile communications</i>)

G-TEM	ondes électromagnétiques transverses en gigahertz (<i>gigahertz transverse electromagnetic</i>)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	télécommunications mobiles internationales (<i>international mobile telecommunications</i>)
I/Q	en phase/en quadrature (<i>in-phase/quadrature-phase</i>)
LTE	évolution à long terme (<i>long term evolution</i>)
MAQ	modulation d'amplitude en quadrature
MDPQ	modulation par déplacement de phase quadrivalente
OFDM	multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (<i>orthogonal frequency division multiplexing</i>)
OoB	hors bande (<i>out-of-band</i>)
p.a.r.	puissance apparente rayonnée
p.i.r.e.	puissance isotrope rayonnée équivalente
PMR	radiocommunications mobiles privées (<i>private mobile radio</i>)
RB	bloc de ressources (<i>resource block</i>)
RF	fréquence radioélectrique (<i>radio frequency</i>)
RLAN	réseau local hertzien (<i>radio local area network</i>)
RMS	valeur quadratique moyenne (<i>root mean square</i>)
Rx	récepteur
SC-FDMA	accès multiple par répartition en fréquence à porteuse unique (<i>single-carrier frequency division multiple access</i>)
SF	service fixe
SRD	dispositif à courte portée (<i>short range device</i>)
TDD	duplex à répartition dans le temps (<i>time division duplex</i>)
TDMA	accès multiple par répartition dans le temps (<i>time division multiple access</i>)
TETRA	radiocommunication de Terre à ressources partagées (<i>terrestrial trunked radio</i>)
TFES	Groupe spécial TC MSG / TC ERM chargé de l'élaboration de normes harmonisées conformes à la directive R&TTE pour les IMT
Tx	émetteur
UE	équipement d'utilisateur (<i>user equipment</i>)
UIT	Union internationale des télécommunications
UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications
UMTS	système de télécommunications mobiles universelles (<i>universal mobile telecommunications system</i>)
VHF	ondes métriques (<i>very high frequency</i>)

W-CDMA	accès multiple par répartition en code à bande étendue (<i>wideband code division multiple access</i>)
WiMAX	interopérabilité mondiale pour l'accès hyperfréquence (<i>worldwide interoperability for microwave access</i>)
WLAN	réseau local sans fil (<i>wireless local area network</i>)

1 Introduction

Le présent Rapport porte sur les rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande et dans le domaine des rayonnements non essentiels produits en particulier sur les systèmes numériques à bande étroite et large bande.

Les émetteurs modernes des systèmes numériques génèrent toujours un signal radioélectrique numérique dans ce que l'on appelle la «bande de base». Après conversion du signal numérique en signal analogique (D/A), les deux composants en bande de base sont directement déplacés dans la gamme de fréquences radioélectriques moyennant une modulation en phase/en quadrature (I/Q). De ce fait, aucune crête distincte ne se produit dans le domaine des rayonnements non essentiels. Contrairement aux émetteurs analogiques, les émetteurs numériques n'ont pas de pic.

Les limites générales applicables actuellement aux rayonnements non désirés produits par les systèmes de radiocommunication numériques ont été définies pour la première fois ou mises à jour il y a une quinzaine d'années. Or, les technologies numériques ont considérablement évolué depuis. Plusieurs Recommandations de la série SM (Recommandations UIT-R SM.1541, UIT-R SM.329, UIT-R SM.1539, etc.) ont été élaborées entre 1996 et 2004, à une époque où les systèmes de radiocommunication numériques étaient déjà plus nombreux que les systèmes analogiques. La Recommandation ERC/REC 74-01 élaborée par les administrations de la Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (CEPT) porte sur les rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels pour ce qui est des limites de la catégorie B définies dans la Recommandation UIT-R SM.329.

On a effectué des mesures des rayonnements non désirés pour des équipements échantillons de systèmes numériques en appliquant les procédures et les montages décrits dans l'Annexe 1. Les résultats de ces mesures sont présentés dans l'Annexe 2 et résumés dans les paragraphes 2, 3 et 4.

2 Emissions hors bande

On trouvera dans le Tableau 1 un résumé de la comparaison des résultats des mesures effectuées pour plusieurs systèmes numériques avec les limites des émissions hors bande données dans la Recommandation UIT-R SM.1541, dans l'Accord CRR-06 et dans les normes ETSI pertinentes.

Les mesures réalisées pour les systèmes ci-après ont montré que les gabarits définis pour les émissions hors bande dans les normes ETSI pertinentes étaient respectés:

- stations de base LTE800 (Fig. 8);
- équipements d'utilisateur LTE800 (Fig. 10);
- stations de base GSM900 (Fig. 16);
- station de base UMTS (Fig. 19);
- réseau local hertzien (Fig. 21); et
- liaison point à point à 25 GHz (Fig. 24).

Les limites génériques de type «filet de sécurité» données dans les gabarits de la Recommandation UIT-R SM.1541 sont très largement respectées par les émetteurs DVB-T (voir la Fig. 7) et la liaison point à point à 25 GHz (voir la Fig. 20); pour les autres systèmes indiqués dans le Tableau 1, la Recommandation UIT-R SM.1541 ne donne pas d'informations concernant les limites des émissions hors bande.

Il convient en outre de noter que, dans certains cas (par exemple dispositifs DECT présentés dans la Fig. 17), les limites sont tout juste respectées.

TABLEAU 1

Comparaison des résultats des mesures réalisées pour plusieurs systèmes numériques avec les limites des émissions hors bande

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.1541	CRR-06	ETSI
Emetteur DAB+	Figure 5	–	On peut voir que le gabarit critique n'est pas respecté à un décalage de 2,2 MHz environ, mais il est difficile de comprendre pourquoi en raison des limites de sensibilité de l'équipement de mesure.	–
Emetteurs DVB-T	Figure 7	L'émetteur DVB-T respecte ces limites avec une marge de ~20 dB au moins.	Tout juste respectées.	–
Stations de base LTE800	Figure 8	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	–	ETSI EN 301 908-14, Tableau 4.2.2.2.3-3: Même si aucun filtre externe n'est appliqué, les émissions hors bande au-delà d'un décalage d'environ 15 MHz (150% de la largeur de canal) sont déjà 20 dB au-dessous de la limite. Toutefois, l'un de ces signaux respecte tout juste le gabarit pour des décalages plus petits (<10 MHz), et cela peut changer en cas d'allongement du temps de mesure.
Equipements d'utilisateur LTE800	Figure 10	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	–	ETSI EN 301 908-13, Tableau 4.2.3.1.2-1: Les équipements d'utilisateur testés respectent le gabarit des émissions hors bande avec une marge variable, avec des émissions asymétriques, la suppression étant plus grande au-dessus de 862 MHz. On peut ainsi penser qu'il y a un filtrage (interne) pour traiter les problèmes de coexistence avec les systèmes dans les bandes de fréquences adjacentes.
Stations de base GSM900	Figure 16	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	–	ETSI TS 145 005: Sur la totalité de la gamme, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur à la limite fixée par l'ETSI, en particulier à un décalage de 400 kHz où il est inférieur de 10 dB environ au gabarit des émissions.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.1541	CRR-06	ETSI
Dispositifs DECT	Figure 17	–	–	Les niveaux des émissions hors bande pour les deux dispositifs DECT pour lesquels des mesures ont été réalisées ne respectent pas les exigences définies dans la norme ETSI [17] dans la plage de décalages d'environ 1 MHz. Etant donné que seules les émissions liées à la modulation peuvent être vues dans le domaine des émissions hors bande, on peut partir du principe que tous les dispositifs DECT auront presque le même spectre dans le domaine des émissions hors bande, auquel cas il semble qu'il y ait une marge considérable entre la limite des émissions hors bande et les émissions hors bande effectives, en particulier dans la plage du canal voisin avec un décalage de 2 MHz.
Station de base UMTS	Figure 19	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	–	ETSI TS 125 104 , Chapitre 6.6.2.1, Tableau 6.5: Les émissions hors bande sont inférieures d'au moins 15 dB au gabarit. Les rayonnements non désirés dus à la modulation disparaissent dans le bruit large bande de l'amplificateur dès un décalage d'environ 125% de la largeur du canal.
Réseau local hertzien	Figure 21	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	–	ETSI EN 300 328 : A un décalage de 250%, les émissions hors bande sont généralement inférieures de plus de 20 dB à la limite.
Liaison point à point à 25 GHz	Figure 24	Les limites génériques de type filet de sécurité des émissions dans le domaine des émissions hors bande pour le service fixe indiquées dans l'Annexe 12 de cette Recommandation sont respectées avec une marge d'environ 20 dB.	–	ETSI EN 302 217-2-2 , § 4.2.4.2.1: La limite spécifique est respectée avec une marge d'au moins 10 dB.

3 Rayonnements non essentiels

On trouvera dans le Tableau 2 un résumé de la comparaison des résultats des mesures effectuées pour plusieurs systèmes numériques avec les limites des rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels données dans la Recommandation UIT-R SM.1541, dans la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans les normes ETSI pertinentes.

Sauf pour les fréquences harmoniques présentées dans la Fig. 13 (équipement d'utilisateur LTE800), les limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 pour le domaine des émissions hors bande sont généralement respectées avec une marge importante de plusieurs dizaines de dB:

- émetteur DAB (Fig. 6);
- émetteur DVB-T (Fig. 7);
- station de base LTE800 (Fig. 9);
- équipement d'utilisateur LTE800 (Fig. 11);
- équipement d'utilisateur LTE à 2,3 GHz (Fig. 14);
- station de base GSM900 (Fig. 16);
- station de base UMTS (Fig. 20);
- réseau local hertzien (Fig. 22);
- équipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz (Fig. 23);
- liaison point à point à 25 GHz (Fig. 25).

Les mesures ci-après montrent que, pour les équipements indiqués ci-dessous, le niveau des rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels n'est pas constant sur la fréquence, comme on le suppose dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans les normes ETSI pertinentes, en particulier lorsque des filtres de sortie sont appliqués:

- émetteur DAB (Fig. 6);
- station de base LTE800 (Fig. 9);
- équipement d'utilisateur LTE800 (Fig. 11);
- équipement d'utilisateur LTE à 2,3 GHz (Fig. 14);
- station de base GSM900 (Fig. 16);
- station de base UMTS (Fig. 20);
- liaison point à point à 25 GHz (Fig. 24).

A mesure que le décalage par rapport à la fréquence augmente, le niveau des rayonnements non essentiels diminue de manière continue. Les émetteurs avec filtre ne produisent généralement pas de rayonnements non essentiels mesurables à des décalages correspondant à plus de quatre fois la largeur de bande du signal, et parfois dès la frontière de 250% (voir par exemple la Fig. 26). Toutefois, on attend généralement une réponse parasite résultant de l'affaiblissement dû au filtre dans les gammes de fréquences à proximité des harmoniques de la fréquence centrale.

Même dans le cas des émetteurs sans filtre, les rayonnements non essentiels dépendent de la fréquence. Il peut y avoir une exception avec une crête au niveau des harmoniques, voir la Fig. 18 pour l'équipement d'utilisateur LTE800, qui montre un exemple de rayonnements non désirés produits par l'équipement d'utilisateur testé à la deuxième fréquence harmonique, mais même dans ce cas, la crête est inférieure de 1,5 dB à la limite définie dans la Recommandation ERC/REC 74-01.

TABLEAU 2

Comparaison des résultats des mesures réalisées pour plusieurs systèmes numériques avec les limites des rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	Normes ETSI pertinentes
Emetteurs DAB/DAB+	Figure 5 (émetteur DAB+) et Figure 6 (émetteur DAB)	Les limites pour la catégorie A «Tous les services à l'exception des services énumérés ci-dessous» sont respectées par les émetteurs DAB (Fig. 6).	Les rayonnements non essentiels produits par les émetteurs DAB/DAB+ avec filtre à des décalages par rapport à la fréquence centrale supérieurs à 10 MHz environ et les rayonnements harmoniques sont inférieurs au niveau de sensibilité des mesures et inférieurs de plus de 57 dB aux limites indiquées dans la Recommandation ERC/REC 74-01.	–
Emetteurs DVB-T	Figure 7		En raison du filtrage requis, le niveau des rayonnements non désirés même au début du domaine des rayonnements non essentiels (décalage de 20 MHz) est inférieur au niveau de sensibilité des mesures et inférieur d'au moins 30 dB à la limite indiquée dans le Tableau 4.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01.	
Station de base LTE800	Figure 9	Les niveaux des rayonnements non essentiels sont inférieurs d'au moins 40 dB aux limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (catégorie B) pour le service mobile terrestre, dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la norme ETSI EN 301 908-14, en raison des filtres de sortie appliqués.		
Equipements d'utilisateur LTE800	Figure 11	Les deux équipements d'utilisateur respectent les limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (catégorie B, service mobile terrestre), dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.4.1.2-2) avec une marge d'au moins 20 dB dans cette configuration. Les rayonnements non essentiels effectifs sont inférieurs à ceux apparaissant sur la figure en raison des limites de sensibilité des mesures.		
Equipements d'utilisateur LTE2300	Figure 14	Les rayonnements non essentiels pour des décalages plus importants sont jusqu'à 30 dB inférieurs à la limite. Il convient cependant de noter que les mesures effectuées dans le domaine des rayonnements non essentiels sont limitées par la plage dynamique de l'équipement de mesure. Les rayonnements non désirés produits par les dispositifs pourraient par conséquent être encore plus bas que ceux mis en évidence dans la Fig. 14.		

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	Normes ETSI pertinentes
Station de base GSM900	Figure 16	En dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, la limite des rayonnements non essentiels pour la catégorie B (systèmes mobiles terrestres, stations de base) donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 est respectées avec une marge d'au moins 30 dB.		En particulier en dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur de plus de 25 dB à la limite indiquée dans la norme ETSI TS 145 005 grâce au filtrage interne appliqué pour protéger les services dans les bandes adjacentes.
Station de base UMTS	Figure 20	Bien qu'elle émette sur le canal le plus élevé et constitue donc le cas le plus critique concernant le respect des limites des rayonnements non essentiels, la station soumise aux mesures respecte ces limites avec une marge de 10 dB environ, même au début du domaine des rayonnements non essentiels. Pour des décalages de plus de 20 MHz, les limites sont respectées avec une marge d'au moins 30 dB. Les rayonnements non essentiels effectifs sont inférieurs à ceux apparaissant sur la figure. On est limité par la sensibilité des mesures.		
Réseau local hertzien	Figure 22	Les limites sont respectées avec une marge comprise généralement entre 20 et 30 dB.		
Équipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz	Figure 23	Bien que les mesures couvrent seulement une petite gamme de fréquences à un décalage très élevé, on peut voir que les limites sont respectées avec une marge d'au moins 40 dB.		
Liaisons point à point à 25 GHz	Figure 25	La limite pour les rayonnements non essentiels est respectée avec une marge d'au moins 20 dB.		

4 Frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels

Sauf pour certains systèmes mobiles publics (normes 3GPP), la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels est généralement définie comme étant située à 250% de la largeur de bande du signal (largeur de bande nécessaire B_n). Pour les systèmes large bande, le Règlement des radiocommunications (Annexe 1 de l'Appendice 3) définit une frontière plus proche à $1,5 B_n$. Toutefois, cette formule s'applique souvent uniquement à des systèmes ayant une largeur de bande plus grande que celle effectivement utilisée dans la bande. Par exemple:

- entre 30 MHz et 1 GHz, la frontière à $1,5 B_n$ s'applique uniquement lorsque $B_n > 10$ MHz. Des applications types, comme les applications TETRA, DAB, DVB-T, GSM, UMTS et LTE, ont des largeurs de bande plus petites;
- entre 1 GHz et 3 GHz, la frontière réduite s'applique uniquement lorsque $B_n > 50$ MHz. La quasi-totalité des systèmes dans cette gamme, y compris les systèmes GSM, UMTS, DECT, LTE et RLAN, ont des largeurs de bande plus petites.

En conséquence, pour tous les systèmes ayant fait l'objet de mesures indiqués dans le présent Rapport, la frontière est située à 250% de la largeur de bande du signal, sauf dans le cas des bandes utilisées pour les systèmes mobiles publics où la frontière est souvent définie par rapport aux bords de la bande désignée. Par exemple pour certains systèmes IMT utilisant une largeur de bande de canal variable, la frontière est actuellement spécifiée au § 2.6 de la Recommandation UIT-R M.2070 pour les stations de base comme étant située 10 MHz au-dessus du bord de la bande de fonctionnement.

Les mesures données dans le présent Rapport montrent que les rayonnements non désirés dus à la modulation, en particulier pour les systèmes à bande étendue, cessent souvent à des décalages bien inférieurs à 250% de la largeur de bande. Ce constat est encore plus vrai dans le cas des stations de base des systèmes avec filtre comme les systèmes DAB (voir la Fig. 26), DVB-T (voir la Fig. 7), et GSM/UMTS/LTE (voir les Fig. 15 et 16 pour les stations de base GSM, la Fig. 19 pour les stations de base UMTS, les Fig. 8 et 9 pour les stations de base LTE800 et la Fig. 11 pour les équipements d'utilisateur LTE800).

5 Résumé

Dans le présent Rapport, des mesures sont données pour un nombre limité d'équipements échantillons utilisant différentes technologies de radiocommunication. On observe que les rayonnements mesurés sont généralement inférieurs aux limites données dans les Recommandations UIT-R et dans les normes ETSI avec une marge importante de plusieurs dizaines de dB dans le domaine des rayonnements non essentiels, sauf pour les fréquences harmoniques. Cette conclusion a d'importantes répercussions pour les études de partage et de compatibilité, qui sont souvent fondées sur l'hypothèse selon laquelle l'équipement respectera tout juste les limites définies dans les normes.

Toutefois, cette conclusion doit être justifiée de manière statistique car les mesures ont été effectuées pour un ensemble restreint de conditions (autant sur le plan de l'environnement que sur celui des paramètres utilisés pour la configuration) et pour un très petit nombre d'équipements échantillons.

L'objectif n'est pas d'imposer des restrictions supplémentaires ou de modifier les limites ou les frontières indiquées dans les Recommandations UIT-R existantes sur la base des exemples présentés dans cette étude.

Références

- [1] Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande
- [2] ERC REC 74-01 (Siófok 98, Nice 99, Sesimbra 02, Hradec Kralove 05, Cardiff 11) «Unwanted emissions in the spurious domain»
- [3] Recommandation UIT-R SM.329 – Rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels
- [4] Règlement des radiocommunications de l'UIT, Edition de 2016
- [5] Recommandation UIT-R SM.1539 – Variation de la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels dont il faut tenir compte dans l'application des Recommandations UIT-R SM.1541 et UIT-R SM.329
- [6] ETSI EN 301 908 «IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive»
- [7] ETSI EN 301 908-3 v7.1.1 «IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 3: CDMA Direct Spread (UTRA FDD) Base Stations (BS)»
- [8] ETSI EN 301 908-13 V7.1.1 (2015-12) «IMT cellular networks; Harmonised EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 13: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)»
- [9] ETSI EN 301 908-14 v7.1.1 «IMT cellular networks; Harmonised EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 14: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Stations (BS)»
- [10] ETSI EN 301 908-18 v7.1.1 «IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 18: E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS)»
- [11] Accord Genève 06 (GE-06): Accord régional relatif à la planification du service de radiodiffusion numérique de Terre dans la Région 1 (parties de la Région 1 situées à l'ouest du méridien 170° E et au nord du parallèle 40° S, à l'exception du territoire de la Mongolie) et en République islamique d'Iran, dans les bandes de fréquences 174-230 MHz et 470-862 MHz (<http://www.itu.int/pub/R-ACT-RRC.14-2006/en>)
- [12] ETSI EN 302 077 v1.1.1 «Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Terrestrial - Digital Audio Broadcasting (T-DAB) service; Part 1: Technical characteristics and test methods»
- [13] ETSI EN 302 296 v1.1.1 «Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the digital television broadcast service, Terrestrial (DVB-T)»
- [14] LTE User Equipment – Coexistence with 862-870 MHz, Ofcom, septembre 2012: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/award-800mhz/statement/lte-coexistence.pdf>
- [15] Recommandation UIT-R M.2071 – Caractéristiques génériques des rayonnements non désirés des stations mobiles utilisant les interfaces radioélectriques de Terre des IMT évoluées
- [16] ETSI TS 145 005 v13.0.0 (2016-01) «Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (3GPP TS 45.005 version 13.0.0 Release 13)»
- [17] ETSI EN 300 175-2 v2.6.1 (2015-07) «Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT). Common Interface (CI); Part 2: Physical Layer (PHL)»
- [18] ETSI TS 125 104 «Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD)»

- [19] ETSI EN 300 328 v1.9.1 «Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2.4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive»
- [20] ETSI EN 302 217-2-2 v2.0.0 «Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas»
- [21] ETSI EN 301 390 v1.3.1 «Fixed Radio Systems; Point-to-point and Multipoint Systems; Unwanted emissions in the spurious domain and receiver immunity limits at equipment/antenna port of Digital Fixed Radio Systems»
- [22] Recommandation ECC (02)05 «Unwanted emissions»
- [23] ETSI EN 301 406 v1.5.1 «Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Harmonized EN for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) covering the essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive; Generic radio»
- [24] Note de liaison de l'ECC PT1 à l'intention de l'ETSI ERM RM and ERM/MSG TFES «IMT-2000/UTRA Category B spurious emission limits», Doc ECC PT1(06)184 Annexe 12
- [25] Spécification technique ETSI TS 136 521 «LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception»
- [26] Rapport UIT-R M.2292 «Caractéristiques des systèmes IMT évolués de Terre pour les analyses de partage des fréquences et les analyses des brouillages»
- [27] Rapport ECC 174 «Compatibility between the mobile service in the band 2500-2690 MHz and the radiodetermination service in the band 2700-2900 MHz»
- [28] IEEE 802.11-2012: IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- [29] ETSI EN 301 908-21 v5.2.1 «IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 21: OFDMA TDD WMAN (Mobile WiMAX) FDD User Equipment (UE)»
- [30] Recommandation UIT-R M.1580 – Caractéristiques génériques des rayonnements non désirés des stations de base utilisant les interfaces radioélectriques de Terre des IMT-2000
- [31] Recommandation UIT-R M.1581 – Caractéristiques génériques des rayonnements non désirés des stations mobiles utilisant les interfaces radioélectriques de Terre des IMT-2000
- [32] Recommandation UIT-R M.2070 – Caractéristiques génériques des rayonnements non désirés des stations de base utilisant les interfaces radioélectriques de Terre des IMT évoluées
- [33] Recommandation UIT-R SM.1540 – Rayonnements non désirés du domaine des émissions hors bande tombant dans les bandes adjacentes attribuées
- [34] Directive 2014/53/UE du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014
- [35] 3GPP TS 36.211: V13.1.0 «Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation»
- [36] ETSI EN 302 408 V8.0.1 «Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); GSM Cordless Telephony System (CTS), Phase 1; CTS-FP Radio subsystem»
- [37] ETSI EN 301 502 V12.1.1 «Global System for Mobile communications (GSM); Harmonized EN for Base Station Equipment covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive»
- [38] Recommandation UIT-R SM.328 – Spectres et largeur de bande des émissions

Annexe 1

Procédures et montages de mesure

Table des matières

	<i>Page</i>
1 Montage de type 1	13
2 Montage de type 2	14
3 Montage de type 3	15
4 Gabarit spectral de crête et gabarit spectral moyen	15

La présente Annexe montre les montages types utilisés pour mesurer les émissions hors bande et les rayonnements non essentiels. Le montage à utiliser dépend de la plage dynamique nécessaire pour les mesures et de la nature des émissions (par impulsions ou continues).

Pour mesurer les émissions par conduction produites par des émetteurs ne nécessitant pas un trajet de retour, le signal est obtenu directement à la sortie de l'émetteur, après un affaiblissement adéquat (charge fictive) ou à une sortie prévue pour les mesures (le cas échéant). Si un filtrage de sortie externe est appliqué, le point de mesure se situe après le filtre.

Pour mesurer les émissions par conduction produites par des émetteurs nécessitant un trajet de retour pour fonctionner et ne disposant pas de sortie prévue pour les mesures, le signal est pris à la sortie d'un coupleur directif qui est inséré dans le trajet de transmission. L'un des grands inconvénients de cette méthode est que le signal à mesurer est affaibli par le coupleur directif (généralement de 20 dB) ce qui limite le niveau de détection des rayonnements non désirés, en particulier dans le cas des dispositifs à très faible puissance. Certains systèmes permettent d'accéder à la ligne de transmission avant le répartiteur Rx/Tx qui est alors le point de mesure préféré.

Dans le cas des émetteurs n'ayant pas de borne d'antenne, on mesure les émissions par rayonnement, de préférence dans une cellule G-TEM dont les propriétés radioélectriques sont connues.

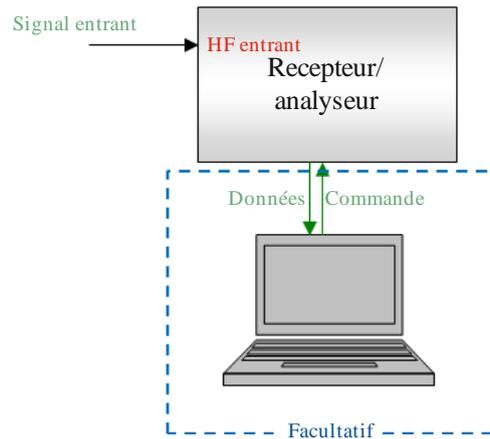
Pour mesurer les émissions par rayonnement d'émetteurs plus gros, le signal est pris au niveau d'une antenne de mesure. Dans ce cas, les deux plus grandes difficultés sont de réunir le plus d'énergie radioélectrique possible et de s'assurer qu'il n'y a aucune émission provenant d'autres émetteurs dans la gamme de fréquences que l'on veut utiliser. Ces deux difficultés peuvent être surmontées en utilisant une antenne très directive (et, par conséquent, avec un gain important) pointée directement vers l'antenne d'émission à la distance la plus proche possible.

1 Montage de type 1

Si la plage dynamique nécessaire n'est pas plus élevée que la différence entre le niveau maximum que le récepteur de mesure peut traiter sans être surchargé et son propre niveau de bruit, le montage le plus simple peut être utilisé pour les signaux continus:

FIGURE 1

Montage de mesure de type 1



Report SM.2421-01

2 Montage de type 2

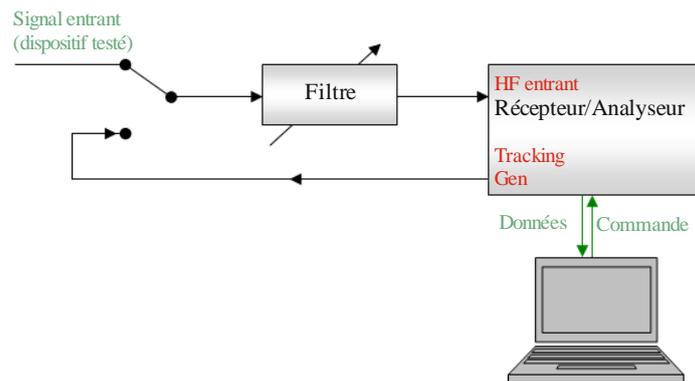
Ce montage peut être utilisé pour les signaux continus lorsque la plage dynamique requise pour les mesures dépasse les capacités du récepteur/analyseur de mesure.

Pour accroître la plage dynamique du récepteur/analyseur de mesure, le signal utile doit être supprimé à l'aide d'un filtre (accordable). Tout d'abord, le spectre après filtrage sur le canal/la fréquence utile ainsi que dans le domaine des émissions hors bande ou des rayonnements non essentiels est mesuré et enregistré. Lors d'une seconde mesure réalisée avec les mêmes paramètres de récepteur/analyseur, l'affaiblissement (réponse en fréquence) du filtre est mesuré et enregistré. À l'aide d'un outil logiciel (par exemple Microsoft Excel), les deux courbes sont ensuite ajoutées afin d'obtenir le spectre original du signal. La mesure est plus efficace si elle est commandée par ordinateur.

En fonction de l'application, de la fréquence et de la largeur de bande du signal testés, un filtre passe-bande ou un filtre coupe-bande peut être utilisé. Pour les rayonnements non essentiels, on préfère utiliser un filtre coupe-bande accordé sur la fréquence utile, car ce type de filtre permet de mesurer la totalité de la plage des rayonnements non essentiels en une fois. Pour mesurer les émissions hors bande, des filtres passe-bande accordés sur la gamme de fréquences du domaine des émissions hors bande à mesurer pourraient également être utilisés.

FIGURE 2

Montage de mesure de type 2

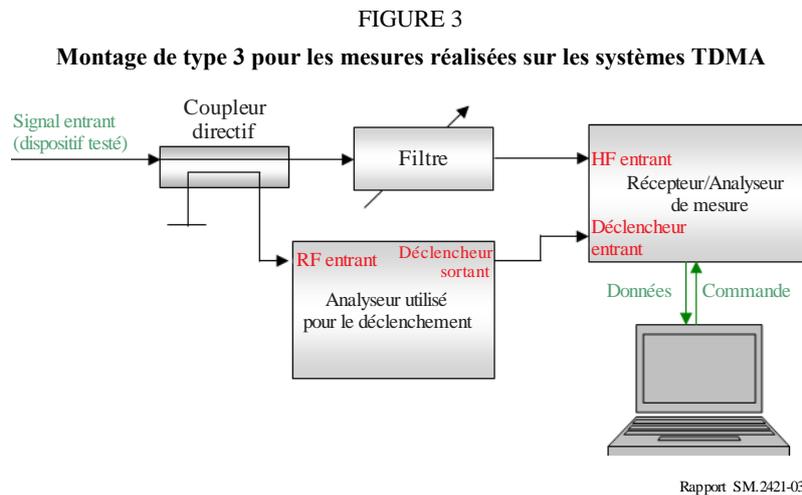


Rapport SM.2421-02

3 Montage de type 3

Pour les systèmes TDMA qui émettent par salves, les limites s'appliquent généralement aux périodes pendant lesquelles l'émetteur est actif. A moins que le niveau de crête soit spécifiquement mentionné dans la Recommandation pertinente, le niveau moyen des salves, qui correspond au niveau quadratique moyen pendant la salve uniquement, doit être mesuré. Pour ce faire, on déclenche de manière externe le récepteur de mesure au début de la salve et on ajuste la durée de la mesure pour qu'elle corresponde à la longueur de la salve. On utilise comme déclencheur un deuxième analyseur de spectre fonctionnant en mode d'excursion zéro et accordé sur la fréquence utile.

La procédure de mesure est la même que pour le montage de type 2.



Traitement des données

La largeur de bande de mesure choisie est toujours égale ou inférieure à la largeur de bande de référence indiquée dans la Recommandation ou norme pertinente. En particulier à proximité des rayonnements non essentiels de crête et dans le domaine des émissions hors bande proche de la fréquence utile, il faut utiliser une petite largeur de bande de mesure sans quoi le spectre mesuré serait élargi de manière excessive, ce qui entraînerait une surestimation du niveau des rayonnements non désirés.

Les niveaux de signal (ou les densités spectrales) relevés dans la largeur de bande choisie sont convertis de manière linéaire en niveaux ou densités de puissance correspondants dans les largeurs de bande de référence avec la formule suivante:

$$P_{refBW} = P_{mesBW} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{refBW}{mesBW} \right)$$

où

- P_{refBW} : niveau du signal dans la largeur de bande de référence
- P_{mesBW} : niveau du signal dans la largeur de bande de mesure
- $refBW$: largeur de bande de référence
- $mesBW$: largeur de bande de mesure

4 Gabarit spectral de crête et gabarit spectral moyen

Avec l'application de limites fixes à ne jamais dépasser pour les rayonnements non désirés, il serait nécessaire de mesurer les émissions avec un détecteur de crête. Or, la référence de 0 dB pour les

gabarits spectraux des émissions hors bande correspond dans la plupart des cas à la puissance totale dans la bande ou à une puissance surfacique dans une largeur de bande de référence donnée, exprimée dans les deux cas sous la forme d'une valeur quadratique moyenne.

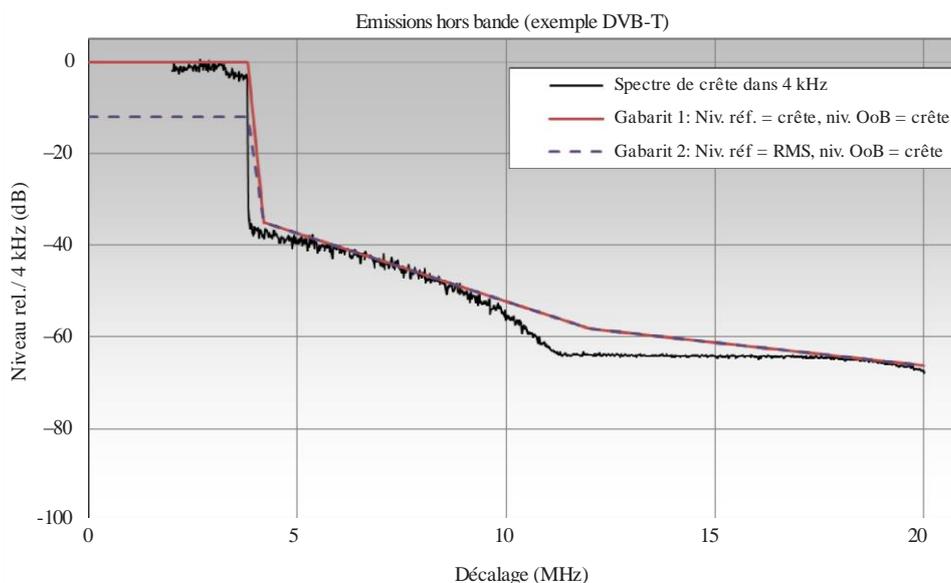
Alors que dans le cas des récepteurs analogiques brouillés, le risque de brouillages dus à des rayonnements non désirés dépend du niveau de crête de ces rayonnements, dans le cas des récepteurs numériques, il dépend du niveau quadratique moyen de ces mêmes rayonnements. Ce point a été démontré par diverses mesures effectuées pour des études de compatibilité.

Dans les systèmes numériques, la quasi-totalité des rayonnements non désirés ainsi que les émissions utiles sont semblables à du bruit, ce qui signifie qu'il y a généralement une différence fixe de 13 dB environ entre le niveau quadratique moyen et le niveau de crête. Pour ces systèmes, il serait possible de définir soit des limites quadratiques moyennes soit des limites de crêtes, car l'un ou l'autre des niveaux pourrait être calculé. Les exceptions sont les pics dus aux harmoniques ou aux produits de mélange.

Il pourra toutefois être utile d'examiner ces systèmes au cas par cas et de définir à la fois des niveaux des émissions hors bande/des rayonnements non désirés et le niveau de référence de 0 dB sur la même base (soit en valeur quadratique moyenne, soit sous la forme d'un niveau de crête) en fonction du cas considéré, car il serait ainsi possible de comparer directement le spectre mesuré et le gabarit. La Figure 4 donne un exemple (émissions hors bande d'un dispositif DVB-T) dans lequel les limites des émissions hors bande du gabarit sont toujours définies en niveaux de crête. Le gabarit 1 correspond à la densité spectrale de crête dans une largeur de bande de référence de 4 kHz. Ce gabarit peut être directement comparé avec le spectre des émissions hors bande mesuré. En revanche, pour le gabarit 2, le niveau de référence de 0 dB est la puissance spectrale quadratique moyenne dans une largeur de bande de bande de 4 kHz. Dans ce cas, il y a une différence d'environ 13 dB entre la densité spectrale mesurée dans la bande et la référence de 0 dB du gabarit.

FIGURE 4

Différentes définitions des gabarits – Exemple (émissions hors bande d'un dispositif DVB-T)



Rapport SM.2421-04

Dans de nombreux cas, le niveau de référence pour un gabarit spectral est la puissance de la porteuse non modulée. Dans le cas des systèmes numériques, la porteuse n'étant jamais non modulée, sa puissance ne peut par conséquent pas être mesurée directement. A la place, il est possible de mesurer la valeur quadratique moyenne de la puissance totale dans la bande du signal modulé, celle-ci

étant égale à la puissance d'une porteuse non modulée. Toutefois, la largeur de bande de référence prise pour cette mesure doit être la largeur de bande occupée par le signal, qui peut être différente de la largeur de bande de référence utilisée pour mesurer les rayonnements non désirés. Dans ces cas, il n'y a pas de ligne de référence dans le canal pour le gabarit spectral comparé au spectre mesuré. Dans l'exemple donné dans la Fig. 4, la ligne horizontale pour les décalages de 0 MHz à 4 MHz n'existerait pas et le niveau de référence de 0 dB serait déplacé de la différence résultant de la correction de la largeur de bande (dans le cas du dispositif DVB-T: $10 \cdot \log_{10}(8 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}) = 23 \text{ dB}$).

Annexe 2

Mesure des rayonnements non désirés produits par les systèmes numériques communs

Table des matières

	<i>Page</i>
1 Généralités	18
2 Système DAB/DAB+	18
3 Système DVB-T	22
4 Stations de base LTE800	24
5 Equipement d'utilisateur LTE800	28
6 Equipement d'utilisateur LTE2300	34
7 Station de base GSM900	37
8 Systèmes DECT	40
9 Stations de base UMTS 2100	44
10 Dispositifs RLAN dans la bande des 2,4 GHz	47
11 Equipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz	49
12 Liaisons point à point à 25 GHz	51
13 Systèmes avec filtre et systèmes sans filtre	54
14 Emissions transitoires dans les systèmes numériques à impulsions	55
15 Rayonnements non désirés en bande étroite et en bande étendue	57

1 Généralités

On trouvera dans les paragraphes ci-après les résultats des mesures des rayonnements non désirés (dans le domaine des émissions hors bande et dans le domaine des rayonnements non essentiels) produits par plusieurs systèmes numériques communs. Les mesures ont été effectuées pour un nombre limité d'équipements échantillons qui ne seront pas nécessairement représentatifs de tous les équipements.

A des fins de comparaison immédiate, les limites applicables apparaissent également sur les figures avec les mesures. Lorsque les limites sont définies sous la forme de niveaux absolus de puissance, elles sont recalculées pour obtenir des valeurs relatives en utilisant le même niveau de puissance de référence sur la porteuse émise que pour les spectres mesurés. Lorsque les limites sont définies sous la forme d'une densité spectrale de puissance dans une largeur de bande autre que la largeur de bande de référence, les spectres mesurés sont convertis dans la largeur de bande de référence en utilisant une fenêtre d'intégration glissante. Pour faciliter les comparaisons avec le spectre mesuré, les courbes représentant les limites des émissions hors bande sont tracées à partir d'un décalage de 0 MHz par rapport à la fréquence centrale et servent de courbes de référence indiquant la densité spectrale de puissance relative dans la bande.

Chaque figure comprend la limite des émissions hors bande de référence (par exemple le gabarit spectral) tirée de la norme pertinente. Lorsqu'elle existe, la limite de type «filet de sécurité» donnée dans la Recommandation UIT-R SM.1541 pour le service concerné est indiquée à titre de comparaison avec la limite normalisée effective la plus stricte.

Il est à noter que la sensibilité des mesures peut varier d'une courbe à l'autre, mais elle n'est pas toujours connue avec précision. Par conséquent, les spectres semblent parfois finir par un gradient (presque) horizontal, qui correspond en fait au plancher de bruit du récepteur de mesure et non aux rayonnements non désirés venant de l'émetteur. Ce constat est encore plus vrai pour les émetteurs ayant un filtre en sortie qui limite les rayonnements non désirés afin de respecter certaines exigences de système (par exemple protection de la bande de réception correspondante). Ces systèmes ne produisent presque jamais d'émissions mesurables pour des décalages plus importants dans le domaine des rayonnements non essentiels. Veuillez noter que dans certaines figures, l'indication «bruit du récepteur» désigne le «plancher de bruit de l'analyseur de spectre».

Pour savoir comment choisir le gabarit spectral à utiliser (gabarit spectral de crête ou gabarit spectral moyen), voir le § 4 de l'Annexe 1.

2 Système DAB/DAB+

Ce système OFDM est l'un des systèmes numériques qu'il est possible d'utiliser comme successeur du système de radiodiffusion sonore analogique. Les paramètres radioélectriques pertinents sont les mêmes pour les systèmes DAB et DAB+¹:

– Modulation:	OFDM avec 1 736 porteuses actives
– Largeur de bande de l'émetteur:	1,536 MHz
– Puissance de l'émetteur:	780 W = 28,9 dB (en sortie d'émetteur), 10 kW (p.a.r.)
– Filtre en sortie d'émetteur:	oui

¹ Etant donné que la seule différence entre un système DAB et un système DAB+ est au niveau du codage numérique, les mêmes émetteurs sont utilisés pour les deux normes, d'où des rayonnements non désirés types identiques.

- Fin du domaine des émissions hors bande: 3,84 MHz (250% de la largeur de bande nécessaire).

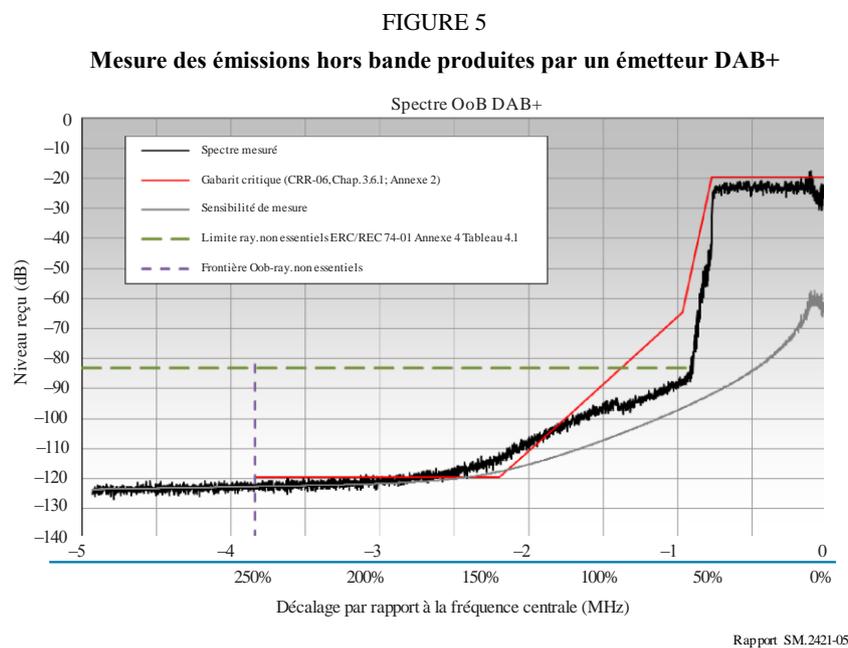
2.1 Emissions hors bande

La Figure 5 montre les mesures effectuées pour un émetteur DAB+ avec les limites pertinentes.

L'un des gabarits définis dans l'Accord régional GE06 (Fig. 3-2 et Tableau 3-10 associé de l'Accord) donne la limite pour le spectre du signal hors bande rayonné dans une bande quelconque de 4 kHz. La fréquence centrale de l'émetteur était de 174,928 MHz, qui est le bloc le plus bas dans la bande des ondes métriques. Par conséquent, le gabarit le plus critique a été utilisé comme référence pour les mesures dans la bande latérale inférieure.

Les mesures ont été effectuées à la borne de l'antenne de l'émetteur avec une largeur de bande de résolution de 3 kHz. Le gabarit spectral défini dans l'Accord GE06 est donné pour une largeur de bande de référence de 4 kHz. Il a été converti pour une largeur de bande de 3 kHz; le gabarit spectral ainsi obtenu est présenté dans la Fig. 5.

Pour information, la Figure 5 comprend également la limite applicable aux rayonnements non essentiels définie dans la Recommandation ERC/REC 74-01.



Etant donné que les niveaux mesurés des émissions spectrales à des décalages supérieurs à 2,5 MHz sont très proches du seuil de sensibilité de l'équipement de mesure, on peut seulement dire que les niveaux effectifs des émissions hors bande au-delà de ce décalage sont inférieurs au gabarit critique (le plus strict) donné dans l'Accord régional GE06. Toutefois, du fait de la plage dynamique restreinte dans laquelle les mesures ont été effectuées, il n'a pas été possible de déterminer de combien les émissions de l'émetteur étaient inférieures au gabarit critique. La sensibilité effective du système utilisé pour les mesures était comprise entre -115 et -120 dBm à un décalage de fréquence de 2,2 MHz.

Observation concernant la Fig. 5:

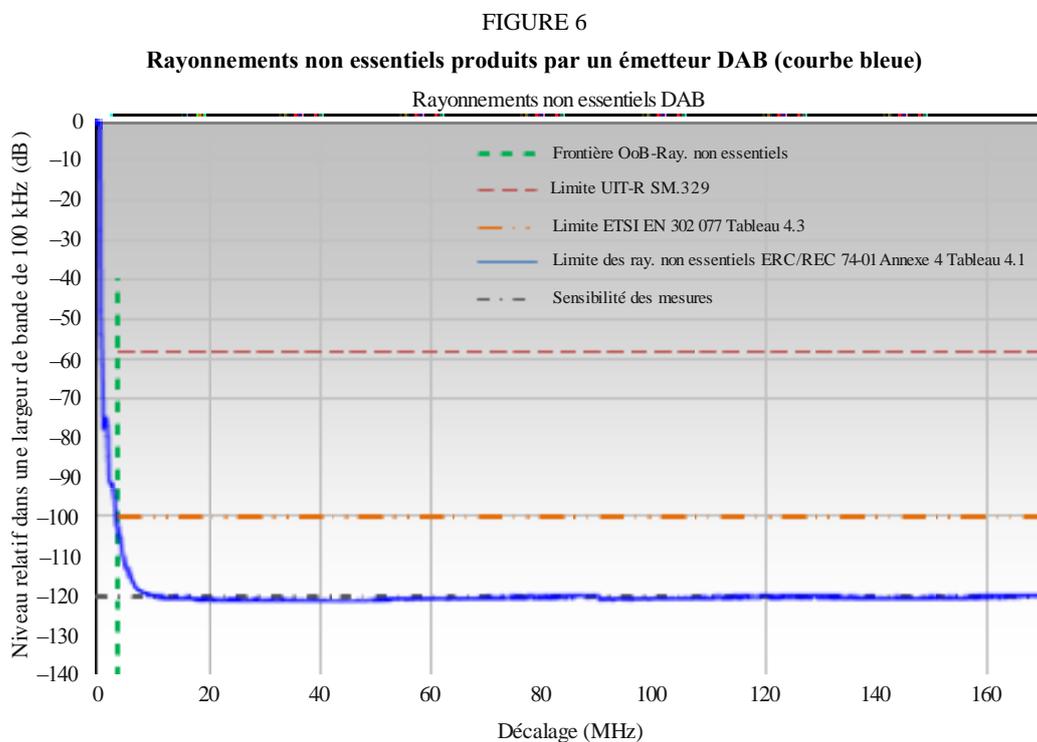
- On peut voir que le gabarit critique n'est pas respecté à un décalage de 2,2 MHz environ, mais il est difficile de comprendre pourquoi en raison des limites de sensibilité de l'équipement de mesure.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.1541	CRR-06
Emetteur DAB+	Figure 5		On peut voir que le gabarit critique n'est pas respecté à un décalage de 2,2 MHz environ, mais il est difficile de comprendre pourquoi en raison des limites de sensibilité de l'équipement de mesure.

2.2 Rayonnements non essentiels

Comme indiqué ci-dessus, les émetteurs DAB/DAB+ ont toujours des filtres de sortie afin de limiter les rayonnements non désirés. Dans le cadre des mesures effectuées sur plusieurs émetteurs DAB en Allemagne, aucun rayonnement non désiré dans le domaine des rayonnements non essentiels pour des décalages importants par rapport à la fréquence centrale ni rayonnement harmonique au-dessus du plancher de bruit du système de mesure n'a été détecté.

La Figure 6 montre les mesures des rayonnements non essentiels produits par un émetteur DAB (en bleu foncé) et les limites réglementaires applicables.



Rapport SM.2421-06

Comparaison des valeurs mesurées avec les limites réglementaires:

- La Recommandation UIT-R SM.329 ne contient pas de limites spécifiques pour les rayonnements non essentiels pour les dispositifs DAB de la catégorie B (Europe). Par conséquent, la limite pour la catégorie A «Tous les services à l'exception des services énumérés ci-dessous» est utilisée.
- La mesure a été prise à la borne de l'antenne d'un émetteur DAB avec une puissance de sortie de 780 W (p.a.r. de 10 kW). La limite des rayonnements non essentiels pour la catégorie A

«Tous les services à l'exception des services énumérés ci-dessous» donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 dans une largeur de bande de 100 kHz est de 70 dBc. Etant donné que la Fig. 6 donne le niveau spectral dans la bande dans une largeur de bande de 100 kHz, cette limite a été convertie en un affaiblissement relatif de $70 \text{ dBc} - 10 \cdot \log_{10}(1\,536/100) = 58,2 \text{ dBc}$. Le Tableau 4-1 de l'Annexe 4 de la Recommandation ERC/REC 74-01 spécifie une limite de 75 dBc pour les émetteurs dont la puissance de sortie est comprise entre 8 et 800 W, avec une largeur de bande de référence de 100 kHz. On obtient ainsi une densité spectrale de puissance dans la bande dans une largeur de bande de 100 kHz; la limite serait de $75 \text{ dBc} - 10 \cdot \log_{10}(1\,536/100) = 63,2 \text{ dBc}$.

- Le Tableau 4.3 de la norme ETSI EN 302 077-1 [12] définit une limite relative de 126 dBc dans une largeur de bande de référence de 4 kHz pour une puissance moyenne en sortie d'émetteur comprise entre 25 et 1 000 W. Etant donné que la Fig. 6 est normalisée pour un niveau spectral dans la bande dans une largeur de bande de 100 kHz, cette limite est convertie en un affaiblissement relatif de $126 \text{ dBc} - 10 \cdot \log_{10}(1\,536/4) = 100,2 \text{ dBc}$.

Observations concernant les Fig. 5 et 6:

- La suppression relative des rayonnements non essentiels par rapport à la puissance de la porteuse à proximité de la frontière du domaine des émissions hors bande est d'environ 100 dB (voir également la Fig. 5 pour des décalages inférieurs à -3,84 MHz).
- Les rayonnements non essentiels produits par les émetteurs DAB/DAB+ à des décalages par rapport à la fréquence centrale supérieurs à 10 MHz environ et les rayonnements harmoniques sont inférieurs au niveau de sensibilité des mesures et inférieurs de plus de 57 dB aux limites indiquées dans la Recommandation ERC/REC 74-01.
- Le gabarit pour les émissions hors bande atteint la limite fixée pour les rayonnements non essentiels dans la Recommandation ERC/REC 74-01 à des décalages d'environ 1,4 MHz ou 90% de la largeur de bande du signal (voir la Fig. 5).

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01
Emetteurs DAB/DAB+	Figure 5 (émetteur DAB+) et Figure 6 (émetteur DAB)	Les limites pour la catégorie A «Tous les services à l'exception des services énumérés ci-dessous» sont respectées par les émetteurs DAB (Fig. 6).	Les rayonnements non essentiels produits par les émetteurs DAB/DAB+ avec filtre à des décalages par rapport à la fréquence centrale supérieurs à 10 MHz environ et les rayonnements harmoniques sont inférieurs au niveau de sensibilité des mesures et inférieurs de plus de 57 dB aux limites indiquées dans la Recommandation ERC/REC 74-01.

3 Système DVB-T

Il s'agit du système de télévision numérique de Terre utilisé en Europe. Les limites des émissions hors bande données dans la Recommandation UIT-R SM.1541 ont été jugées insuffisantes pour protéger les canaux adjacents et/ou les services de radiocommunication. Par conséquent, des limites plus strictes ont été définies dans l'Accord GE06. Pour respecter ces exigences, les émetteurs DVB-T doivent toujours être équipés de filtres limiteurs de bande après le dernier étage de l'amplificateur.

Les paramètres du système DVB-T sur lequel les mesures ont été effectuées sont les suivants:

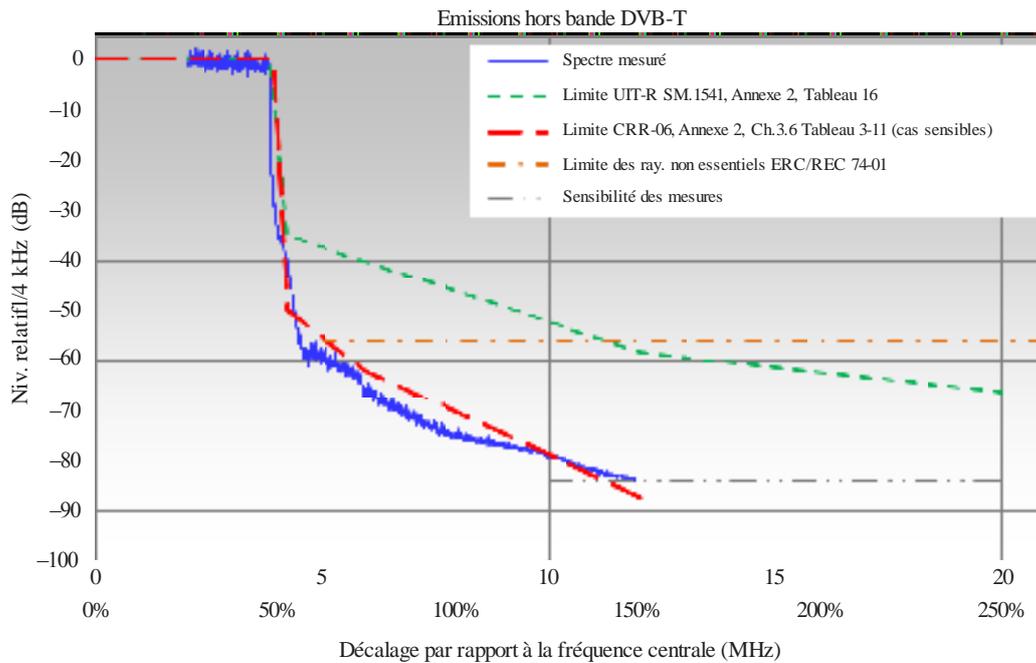
Modulation:	OFDM 8k avec 6 817 porteuses actives
Largeur de bande:	7,61 MHz
Puissance de l'émetteur:	1 kW (en sortie d'émetteur), p.a.r. de 10 kW
Filtre en sortie d'émetteur:	oui
Fin du domaine des émissions hors bande:	20 MHz (voir la Recommandation UIT-R SM.1541, Annexe 6, § 2.2.1).

Pour des précisions supplémentaires, voir également le § 4 de l'Annexe 1.

3.1 Emissions hors bande

Les mesures ont été effectuées à l'alimentation de l'antenne dans une largeur de bande de mesure de 7,5 kHz. Elles sont présentées dans la Fig. 7 pour une largeur de bande de référence de 4 kHz. Les niveaux mesurés sont normalisés pour une densité spectrale de puissance dans la bande dans une largeur de bande 4 kHz. La Recommandation UIT-R SM.1541 spécifie des limites relatives pour la totalité de la plage des émissions hors bande. Afin de protéger les services de radiocommunication dans les bandes adjacentes, le filtre de sortie de l'émetteur sur lequel les mesures ont été effectuées a été conçu pour respecter le gabarit le plus strict donné dans le Tableau 3-11 du Chapitre 3.6 de l'Accord GE06 pour les cas sensibles. Il est à noter que, dans la plupart des cas, le gabarit spectral non critique donné dans l'Accord GE06 est appliqué.

FIGURE 7
Mesures des émissions hors bande produites par des émetteurs DVB-T



Rapport SM.2421-07

Observation concernant la Fig. 7:

- Les émissions hors bande n'ont pu être mesurées que jusqu'au niveau du point de rupture du gabarit donné dans l'Accord GE06 à 12 MHz. Les émissions hors bande pour des décalages de fréquence plus élevés sont inférieures à ce gabarit le plus strict mais n'ont pu être quantifiées en raison de la sensibilité limitée des mesures.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.1541	CRR-06
Emetteurs DVB-T	Figure 7	L'émetteur DVB-T respecte ces limites avec une marge de ~20 dB au moins.	Tout juste respectées.

3.2 Rayonnements non essentiels

Comparaison avec les limites réglementaires:

- L'Accord GE06 ne contient pas de limite pour les rayonnements non essentiels.
- Etant donné que la Recommandation UIT-R SM.329 ne contient pas de valeurs spécifiques pour les systèmes DVB-T, les limites générales de la catégorie A pour les émetteurs de «radiodiffusion télévisuelle» pourront être prises. Une limite de $46 \text{ dB} + 10 \cdot \log_{10}(P/W)$ ou 60 dBc est spécifiée, selon la valeur qui est la moins contraignante, mais sans excéder 12 mW (10,8 dBm). Pour les émetteurs dont la puissance de sortie est supérieure à 50 W, l'affaiblissement de 60 dBc dans une largeur de bande de 100 kHz est pertinent; pour les émetteurs de plus de 12 kW, l'affaiblissement requis est de $19 \text{ dB} + 10 \cdot \log_{10}(P/W)$.
- Le Tableau 4-1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 spécifie une limite des rayonnements non essentiels de -16 dBm dans une largeur de bande de 100 kHz pour un émetteur d'une puissance de sortie moyenne de 1 kW au niveau de la borne de l'antenne.

Pour une puissance de sortie de 59 dBm dans une largeur de bande de 8 MHz, cette limite donne un affaiblissement relatif de $59 \text{ dBm} - 10 \cdot \log_{10}(8\ 000/100) - (-16 \text{ dBm}) = 56 \text{ dB}$. Cette limite est montrée dans la Fig. 7.

- La norme ETSI EN 302 296 [13] pertinente spécifie des limites des rayonnements non essentiels plus strictes que celles données dans la Recommandation UIT-R SM.329. Par exemple, pour des émetteurs dont la puissance de sortie est supérieure à 1 kW, la limite donnée dans cette norme ETSI est de -36 dBm dans une largeur de bande de 100 kHz (400-790 MHz et 862-1 000 MHz), ce qui donne un affaiblissement relatif de plus de 96 dBc.

Comme indiqué ci-dessus les émetteurs DVB-T sont toujours équipés de filtres de sortie pour respecter les exigences de l'Accord GE06. Le point le plus critique est situé à un décalage de 12 MHz, où se situe le niveau le plus bas des émissions hors bande à ne pas dépasser. A la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels à 20 MHz, le filtre de sortie permet de réduire encore les rayonnements non essentiels et de les ramener à un niveau bien inférieur à n'importe quelle limite. En conséquence, il ne peut y avoir aucun rayonnement non essentiel ou aucune harmonique supérieur à la sensibilité des mesures. Les mesures effectuées en Allemagne par BNetzA ont montré que la densité spectrale des rayonnements non désirés des systèmes DVB-T dans le domaine des rayonnements non essentiels est affaiblie de plus de 100 dB par rapport à la densité spectrale de puissance de référence dans la bande dans la même largeur de bande.

Observations concernant la Fig. 7:

- En raison du filtrage requis, le niveau des rayonnements non désirés même au début du domaine des rayonnements non essentiels (décalage de 20 MHz) est inférieur au niveau de sensibilité des mesures et inférieur d'au moins 30 dB à la limite indiquée dans le Tableau 4.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01.

Le gabarit des émissions hors bande de l'Accord GE06 atteint la limite donnée pour les rayonnements non essentiels dans le Tableau 4.1 de la recommandation ERC/REC 74-01 déjà à des décalages de fréquence de 5 MHz ou 62% de la largeur de bande du signal.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01
Emetteurs DVB-T	Figure 7		En raison du filtrage requis, le niveau des rayonnements non désirés même au début du domaine des rayonnements non essentiels (décalage de 20 MHz) est inférieur au niveau de sensibilité des mesures et inférieur d'au moins 30 dB à la limite indiquée dans le Tableau 4.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01.

4 Stations de base LTE800

De nombreux fournisseurs de réseaux commencent actuellement à déployer la quatrième génération de la norme de communication mobile (LTE). La norme TS 36.211 du 3GPP offre une certaine souplesse pour de nombreux paramètres radioélectriques, comme la largeur de bande RF. Les mesures ont été effectuées sur plusieurs stations de base LTE800 de différents fabricants. Les principaux paramètres radioélectriques de ces stations sont les suivants:

Gamme de fréquences:

796 MHz Tx1 et Tx2, 816 MHz pour Tx3

Modulation:	OFDM
Largeur de bande:	10 MHz
Puissance de l'émetteur:	46 dBm (40 W) en sortie d'émetteur, p.i.r.e. de 60,5 dBm (1 122 W)
Filtre en sortie d'émetteur:	Aucun filtre pour Tx1 et Tx3; Tx2 est équipé d'un filtre externe supplémentaire pour respecter les exigences de protection des systèmes DVB-T (dans la pratique, la bande latérale inférieure de Tx2 a été mesurée et les résultats ont été dupliqués à la fréquence centrale vers la bande latérale supérieure pour permettre une comparaison directe avec les résultats pour Tx1 et Tx3 sur un seul graphique)
Fin du domaine des émissions hors bande:	décalage de 35 MHz pour Tx1, un décalage de 15 MHz par rapport à la fréquence centrale pour Tx2 et Tx3.

Bien qu'aucun filtre externe n'ait été appliqué pour Tx1 et Tx3, ces émetteurs sont équipés de filtres internes qui limitent les rayonnements non essentiels en dehors de la bande de liaison descendante attribuée afin de protéger leurs propres récepteurs dans la bande de liaison montante (de 832 à 862 MHz).

Les mesures ont été effectuées pour un nombre limité d'équipements échantillons et le scénario de fonctionnement le plus défavorable pourrait être très différent des résultats obtenus en raison de la nature dynamique inhérente aux systèmes LTE 3GPP. Par ailleurs, la configuration exacte des blocs de ressources utilisée lors des mesures n'était pas toujours connue.

4.1 Emissions hors bande

Le système émet des salves dont la longueur et la largeur de bande varient en fonction de la configuration de la station de base et du trafic. On a effectué les mesures lorsque les stations de base étaient en mode test en utilisant tous les blocs de ressources disponibles et, partant, en provoquant les émissions maximales dans les bandes latérales. Les largeurs de bande de mesure étaient comprises entre 30 et 100 kHz. La puissance de sortie de l'émetteur pour les trois stations de base LTE était de $40 \text{ W} = 16 \text{ dBW} = 46 \text{ dBm}$. La puissance rayonnée était de 60,5 dBm.

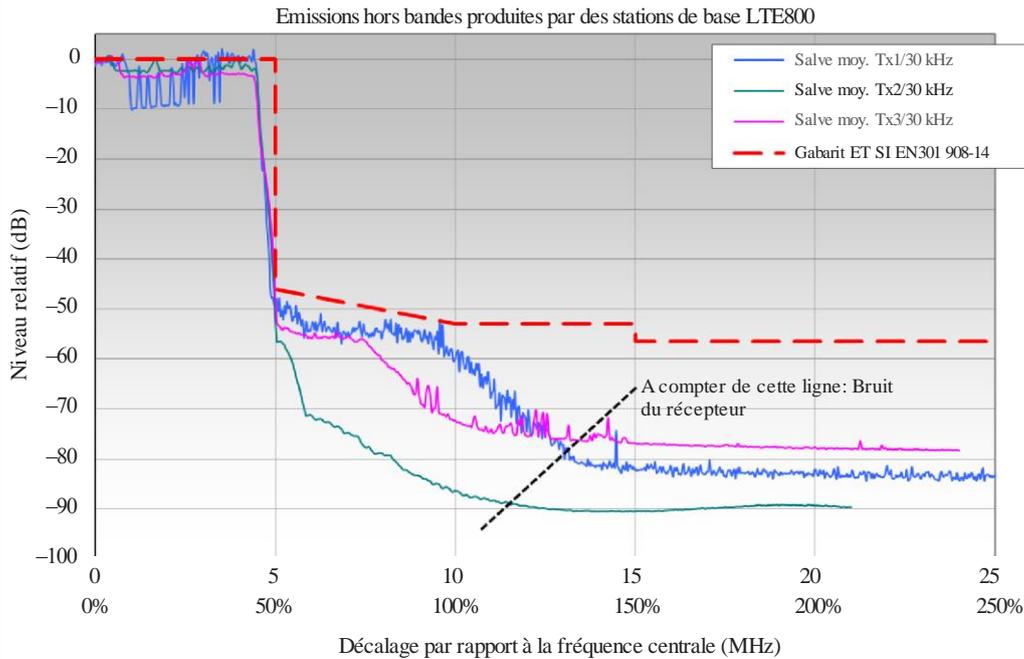
Etant donné que la Recommandation UIT-R SM.1541 ne contient aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application, les gabarits donnés dans le Tableau 4.2.2.2.3-3 de la norme ETSI EN 301 908-14 sont donnés dans la Fig. 8 à titre de comparaison.

Les niveaux des valeurs mesurées et des limites ont été convertis pour une largeur de bande de 30 kHz et normalisés.

Dans la Figure 8, les valeurs situées à droite de la courbe en pointillés noirs montrent les limites techniques dues au bruit du récepteur.

FIGURE 8

Emissions hors bande produites par les stations de base LTE 800



Rapport SM.2421-08

Observations concernant la Fig. 8:

- Même si aucun filtre externe n'est appliqué (voir Tx1 et Tx3), les émissions hors bande au-delà d'un décalage d'environ 15 MHz (150% de la largeur de canal) sont déjà réduites de 80 dB ou ramenées à 20 dB au-dessous de la limite (voir également la Fig. 27, bande latérale supérieure).
- Toutefois, on note que Tx1 respecte tout juste le gabarit à des décalages plus petits (<10 MHz) et cela peut changer en cas d'allongement du temps de mesure.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. ITU-R SM.1541	ETSI EN 301 908-14, Tableau 4.2.2.2.3-3
Stations de base LTE800	Figure 8	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	Même si aucun filtre externe n'est appliqué, les émissions hors bande au-delà d'un décalage d'environ 15 MHz (150% de la largeur de canal) sont déjà 20 dB au-dessous de la limite. Toutefois, un de ces signaux respecte tout juste le gabarit à des décalages plus petits (<10 MHz) et cela peut changer en cas d'allongement du temps de mesures.

4.2 Rayonnements non essentiels

Comparaison avec les limites réglementaires:

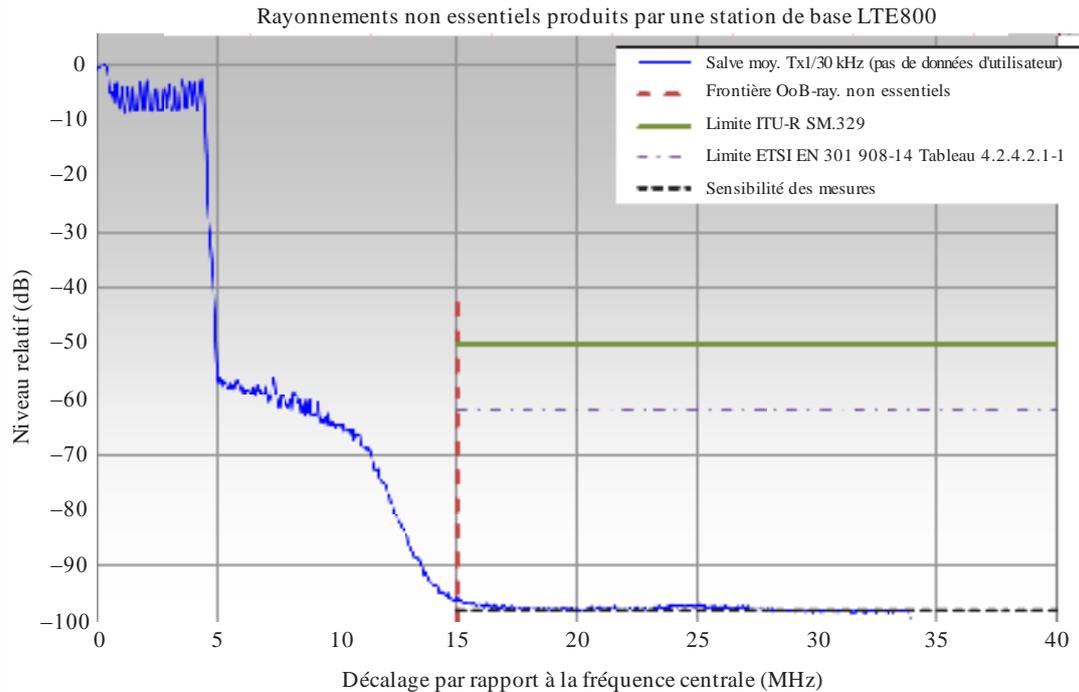
- Etant donné que la Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B) ne contient pas de valeurs spécifiques pour les systèmes d'accès hertzien large bande au-dessous de 1 GHz, la limite générale de la catégorie B de -36 dBm dans une largeur de bande de 100 kHz donnée pour le service terrestre mobile a été utilisée pour les comparaisons dans la Fig. 9.
- Le paragraphe 4.2.4.2.1 de la norme ETSI EN 301 908-14 et le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 spécifient eux aussi pour les rayonnements non essentiels une limite de -36 dBm dans une large de bande de 100 kHz, les émissions par conduction étant mesurées à la sortie de l'émetteur. Cette limite doit être convertie pour une puissance totale dans la bande de 40 W = 46 dBm dans une bande de 10 MHz, ce qui correspond à une densité spectrale de puissance dans la bande de 46 dBm $- 10\log_{10}(10\ 000/100) = 26$ dBm dans une largeur de bande de 100 kHz. L'affaiblissement relatif des rayonnements non essentiels qui en découle est donc de 26 dBm $- (-36$ dBm) = 62 dB.

Comme on l'a vu pour la mesure des émissions hors bande, le niveau des émissions montré dans la Fig. 8 est déjà inférieur à la sensibilité du système de mesure à la frontière du domaine des rayonnements non essentiels. Etant donné que les stations de base LTE sont toutes équipées au minimum de filtres internes qui protègent leurs propres bandes de réception, aucun rayonnement non essentiel n'a été détecté à des décalages de fréquences plus grands.

La Figure 9 ci-dessous montre les mesures des émissions par conduction à la sortie de l'émetteur d'une station de base LTE fonctionnant à 796 MHz. La station de base a été configurée pour émettre avec la puissance maximale, bien que les blocs de ressources n'aient pas tous été attribués pour les données d'utilisateur. Le mode de fonctionnement où la station de base émet à la puissance maximale et où les blocs de ressources ont tous été attribués pour les données d'utilisateurs peut stipuler un niveau plus élevé pour les rayonnements non désirés et peut être appelé «cas le plus défavorable».

Compte tenu des principes décrits au § 3.2, le domaine des rayonnements non essentiels commence à un décalage de 15 MHz, symbolisé par la courbe en pointillés rouges dans la Fig. 9 ci-dessous.

FIGURE 9

Rayonnements produits par une station de base LTE800

Rapport SM.2421-09

Observations concernant la Fig. 9:

- Les signaux modulés passent au-dessous de la sensibilité des mesures dès un décalage de 15 MHz environ (150% de la largeur de bande).
- Les niveaux des rayonnements non essentiels sont inférieurs d'au moins 40 dB aux limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (catégorie B pour le service mobile terrestre), dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la norme ETSI EN 301 908-14, en raison des filtres de sortie appliqués.
- Même si la station ne fonctionnait pas en mode «cas le plus défavorable», on peut voir que le filtre de sortie a le plus d'effet à des décalages supérieurs à 12 MHz, bien que le domaine des rayonnements non essentiels commence à un décalage de 25 MHz.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Station de base LTE800	Figure 9	Les niveaux des rayonnements non essentiels sont inférieurs d'au moins 40 dB aux limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (catégorie B pour le service mobile terrestre), dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la norme ETSI EN 301 908-14, en raison des filtres de sortie appliqués.		

5 Equipement d'utilisateur LTE800

Les équipements d'utilisateur pour des systèmes LTE800 peuvent être des modems installés dans des maisons avec des antennes intérieures ou extérieures, ou des smartphones. Pendant les connexions actives, l'équipement d'utilisateur émet toujours un canal de commande d'une largeur de bande de 180 kHz. Le programmeur de la station de base attribue une partie supplémentaire de la largeur du canal à certains moments au mobile pour la transmission des données d'utilisateur. De ce fait, la

largeur de bande du signal d'équipement d'utilisateur change constamment, en fonction du trafic. En outre, la commande de puissance ajuste en permanence la puissance de sortie de l'équipement d'utilisateur afin que le signal soit tout juste recevable au niveau de la station de base.

Les mesures ont été réalisées avec plusieurs équipements d'utilisateur LTE800 de fabricants différents. Il est admis que, dans l'idéal, un nombre d'équipements échantillons/modèles de référence représentatif sur le plan statistique devrait être analysé pour pouvoir en déduire des modèles statistiques de qualité de fonctionnement des dispositifs mobiles déployés. Pour des questions pratiques, les mesures reposent sur un nombre limité d'équipements échantillons et le scénario de fonctionnement le plus défavorable pourra être très différent des résultats obtenus en raison de la nature dynamique inhérente aux systèmes LTE 3GPP. Par exemple la configuration LTE utilisée (c'est-à-dire le nombre de blocs de ressources, leur emplacement dans le temps/fréquence, etc.) n'est pas toujours spécifiée. Même une «charge complète» où l'équipement d'utilisateur émet sur tous les blocs de ressources possibles avec la puissance maximale ne donne pas nécessairement les rayonnements non désirés maximum, d'où la nécessité, lorsqu'on utilise les normes ETSI pour les tests de conformité, de faire fonctionner l'équipement avec plusieurs configurations différentes, dont il se peut qu'aucune ne produise des rayonnements non désirés supérieurs à la limite.² Néanmoins, les résultats des mesures pourraient fournir des données utiles pour les études de partage et de compatibilité.

Les principaux paramètres radioélectriques des équipements d'utilisateur sur lesquels ont porté les mesures sont les suivants:

Gamme de fréquences:	832 MHz – 862 MHz
Modulation:	SC-FDMA
Largeur de bande:	de 180 kHz à 10 MHz
Fin du domaine des émissions hors bande:	décalage de 20 MHz par rapport à la fréquence centrale (voir le Tableau 4.2.4.1.2-1 de la norme ETSI EN 301 908-13)
Puissance de l'émetteur:	p.i.r.e. jusqu'à 23 dBm (200 mW)

² Note: L'attribution des blocs de ressources «la plus défavorable» pour un système LTE en ce qui concerne les émissions hors bande et les rayonnements non essentiels ne peut être identifiée facilement. Dans la pratique, cette configuration «la plus défavorable» diffère d'une configuration en «charge complète» où tous les blocs de ressources disponibles sont attribués dans la station de base et dans l'équipement d'utilisateur. Les raisons sont les suivantes: les systèmes LTE offrent des possibilités d'attribution des blocs de ressources très souples, pouvant aller de 1 à 100 pour une seule porteuse. Les positions de ces blocs de ressources peuvent aussi varier de 0 à 99, de sorte qu'il existe des milliers de combinaisons possibles. En cas de regroupement des porteuses, ces milliers de combinaisons pour la première porteuse peuvent être combinées aux combinaisons possibles pour la deuxième porteuse, d'où un nombre encore plus grand de combinaisons. Bien que l'attribution de tous les blocs corresponde dans certains cas au cas le plus défavorable car elle entraîne un signal très large, il existe d'autres cas où l'utilisation d'un nombre moyen de blocs de ressources peut entraîner des émissions hors bande plus importantes. Un autre cas correspond à des transmissions d'un bloc de ressources unique, étant donné que les transmissions de ce type ont une densité spectrale de puissance très élevée. Par conséquent, les produits de l'intermodulation entre le bloc de ressources transmis, la fréquence porteuse et la fréquence image peuvent tomber dans la gamme de fréquences des émissions hors bande et avoir des amplitudes importantes proches de la limite. Dans le cas du regroupement de porteuses, il est même possible qu'il y ait un bloc de ressources unique sur chaque porteuse. Dans ce cas, les produits de l'intermodulation entre les porteuses tombant en dehors de la bande peuvent être très importants et, dans ce cas, une réduction de puissance est donc nécessaire pour respecter les limites des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels.

Filtre en sortie d'émetteur: aucun.

Bien qu'aucun filtre de sortie externe n'ait été appliqué, il y a un certain filtrage interne pour limiter les rayonnements non essentiels en dehors de la bande attribuée pour les liaisons montantes afin de protéger les propres récepteurs des systèmes fonctionnant dans la bande 791-821 MHz ou les services dans les bandes adjacentes.

Etant donné que seul le mode FDD présente un intérêt dans cette gamme de fréquence, aucune étude n'a été réalisée sur le mode TDD.

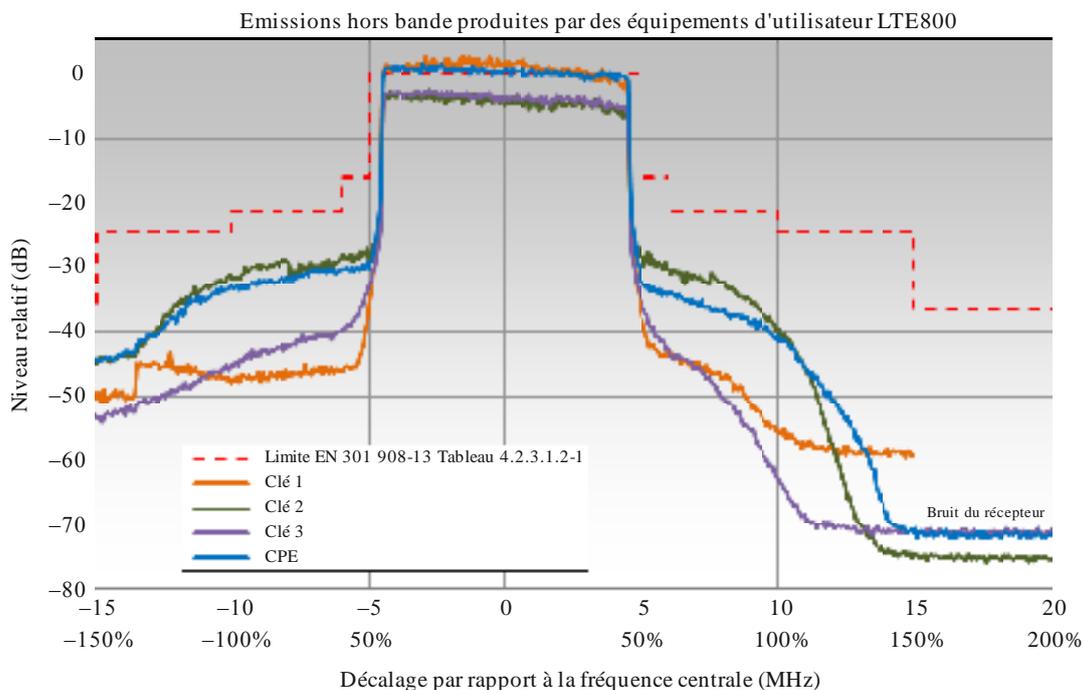
5.1 Emissions hors bande

Des mesures sont publiées dans [14] pour quatre équipements d'utilisateur différents. Le rapport précise que les mesures ont été enregistrées sous la forme d'une puissance quadratique moyenne dans une largeur de bande de résolution de 10 kHz, chaque équipement d'utilisateur émettant à la même puissance maximum (23 dBm) avec une modulation MAQ-16 qui était l'ordre de modulation maximum pris en charge par tous les dispositifs testés. Cette configuration a permis d'obtenir les niveaux de rayonnements non désirés maximum. Etant donné que la Recommandation UIT-R SM.1541 ne contient pas d'informations concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application, les gabarits donnés dans le Tableau 4.2.3.1.2-1 de la norme ETSI EN 301 908-13 sont donnés dans la Fig. 10 à titre de comparaison. Veuillez noter que cette norme définit en outre la frontière du domaine des émissions hors bande pour les signaux LTE de 10 MHz comme étant situé à un décalage de 20 MHz, ce qui correspond à 200% de la largeur de bande de canal.

Les niveaux des valeurs mesurées et des limites ont été convertis pour une largeur de bande de 10 kHz et normalisés.

FIGURE 10

Mesures des émissions hors bande produites par quatre équipements d'utilisateur LTE800



Observations concernant la Fig. 10:

- Les résultats montrent que tous les équipements d'utilisateur respectent le gabarit des émissions hors bande avec une marge variable.
- Tous les équipements d'utilisateur testés ont des émissions asymétriques, avec une suppression plus grande au-dessus de 862 MHz. On peut ainsi penser qu'il y a un filtrage (interne) pour traiter les problèmes de coexistence avec les systèmes dans les bandes de fréquences adjacentes.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.1541	ETSI EN 301 908-13, Tableau 4.2.3.1.2-1
Équipements d'utilisateur LTE800	Figure 10	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	Les équipements d'utilisateur testés respectent le gabarit des émissions hors bande avec une marge variable, avec des émissions asymétriques, la suppression étant plus grande au-dessus de 862 MHz. On peut ainsi penser qu'il y a un filtrage (interne) pour traiter les problèmes de coexistence avec les systèmes dans les bandes de fréquences adjacentes.

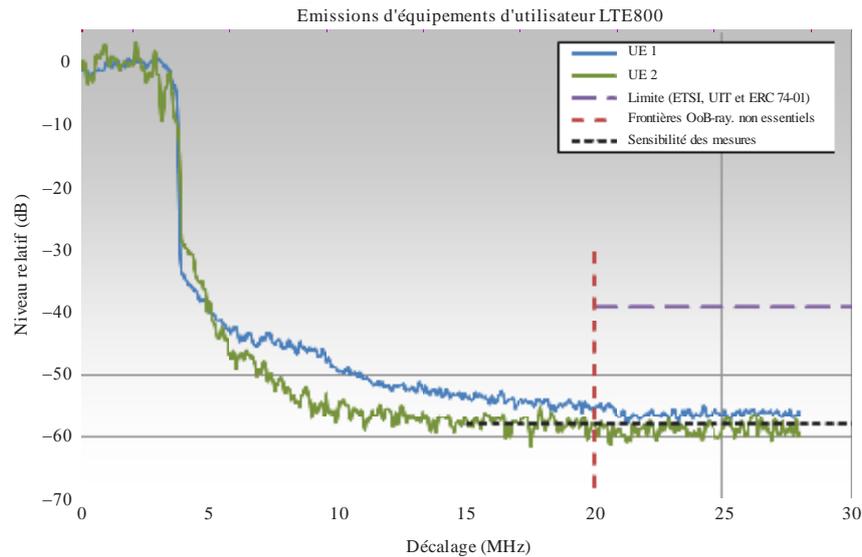
5.2 Rayonnements non essentiels

- La Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B, service mobile terrestre), le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et la norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.4.1.2-2) spécifient pour les rayonnements non essentiels une limite de -36 dBm dans une largeur de bande de référence de 100 kHz (émissions par conduction mesurées à la sortie de l'émetteur). Cette limite doit être convertie pour une puissance totale dans la bande de 200 mW = 23 dBm dans une bande de 10 MHz, ce qui correspond à une densité spectrale dans la bande de 23 dBm $- 10\log_{10}(10\ 000/100) = 3$ dBm dans une largeur de bande de 100 kHz. L'affaiblissement relatif des rayonnements non essentiels qui en découle est donc de 3 dBm $- (-36$ dBm) = 39 dB.
- Il est à noter que la norme ETSI EN 301 908-13 définit en outre la frontière du domaine des émissions hors bande pour les signaux LTE de 10 MHz comme étant situé à un décalage de 20 MHz, ce qui correspond à 200% de la largeur de bande de canal (voir le Tableau 4.2.4.1.2-1 de cette norme).

La Figure 11 montre les mesures effectuées sur deux équipements d'utilisateur LTE800 fonctionnant à 857 MHz dans la plage de décalage proche de la frontière du domaine des émissions hors bande.

FIGURE 11

Emissions produites par deux équipements d'utilisateur LTE800



Rapport SM.2421-11

Observations concernant la Fig. 11:

- On peut voir que les deux équipements d'utilisateur respectent les limites données dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 avec une marge d'au moins 20 dB dans cette configuration. Les rayonnements non essentiels effectifs sont inférieurs à ceux apparaissant sur la figure en raison des limites de sensibilité des mesures.
- Le fait que les équipements d'utilisateur fonctionnaient dans le canal LTE 800 le plus élevé dans lequel les rayonnements non essentiels sont encore réduits pour protéger les services dans les bandes adjacentes se traduit par une diminution très importante des rayonnements non essentiels, qui sont même ramenés à un niveau inférieur à la sensibilité des mesures. En examinant les bandes latérales inférieures sur la Fig. 11, on peut voir que, à la frontière du domaine des émissions hors bande et même à l'intérieur de la bande LTE800, les rayonnements non essentiels sont très inférieurs aux limites.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Equipements d'utilisateur LTE800	Figure 11	Les deux équipements d'utilisateur respectent les limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (catégorie B, service mobile terrestre), dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.4.1.2-2) avec une marge d'au moins 20 dB dans cette configuration. Les rayonnements non essentiels effectifs sont inférieurs à ceux apparaissant sur la figure en raison des limites de sensibilité des mesures.		

5.3 Rayonnements harmoniques

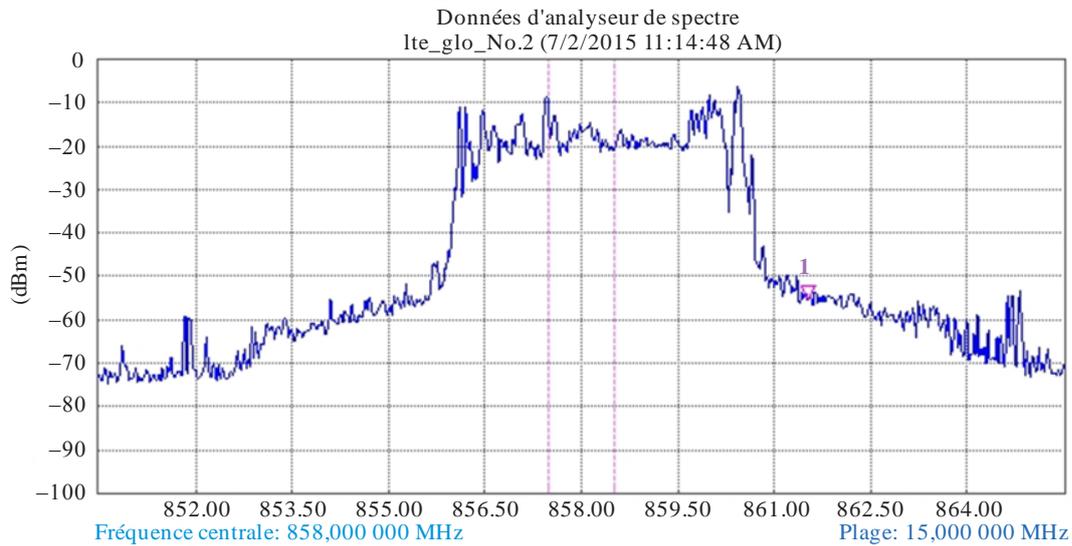
On a mesuré les rayonnements non désirés produits à la deuxième fréquence harmonique par un équipement d'utilisateur LTE800 en vente sur le marché, étant donné que ces rayonnements tombent dans la largeur de bande utilisée par un récepteur dans une bande attribuée au service de radionavigation par satellite. Étant donné que ces rayonnements non désirés sont toujours produits au-dessus de 1 GHz, les limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B pour le service mobile terrestre), dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 et dans la

norme ETSI EN 301 908-13, qui sont de -30 dBm dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, s'appliquent. La Recommandation UIT-R M.2071, qui s'applique aux équipements d'utilisateur IMT-évoluées, spécifie elle aussi la même limite. La puissance rayonnée totale mesurée était de 27 dBm dans une bande de 10 MHz, soit une densité spectrale dans la bande de 17 dBm/MHz. La suppression requise pour les fréquences harmoniques serait donc $17 \text{ dBm/MHz} - (-30 \text{ dBm}) = 47 \text{ dB}$.

L'émetteur émettait sur la fréquence 858 MHz. On a mesuré les émissions par rayonnement produites en utilisant un montage en laboratoire dans une largeur de bande de mesure de 100 kHz. Les Figures 12 et 13 montrent le signal mesuré dans la bande et sa deuxième harmonique.

FIGURE 12

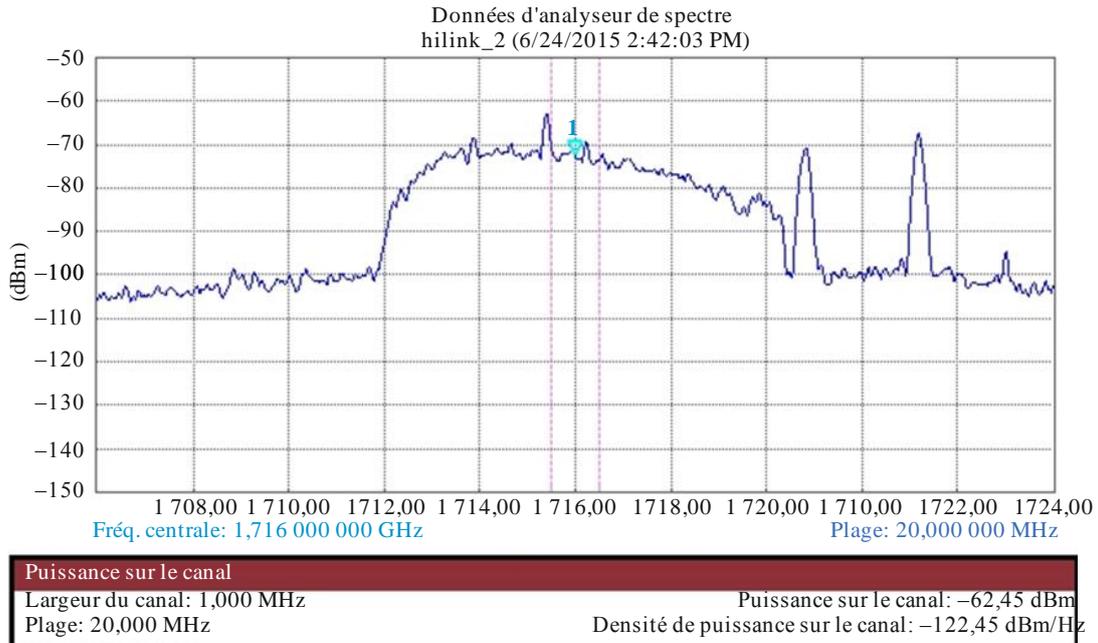
Emissions dans la bande produites par un équipement d'utilisateur LTE800



Puissance sur le canal	
Largeur du canal: 1,000 MHz	Puissance sur le canal: $-7,37$ dBm
Plage: 15,000 MHz	Densité de puissance sur le canal: $-67,37$ dBm/Hz

FIGURE 13

Emissions produites par un équipement d'utilisateur LTE800 à la deuxième fréquence harmonique



Rapport SM.2421-13

Le Tableau 3 donne le bilan de liaison pour ces mesures:

TABLEAU 3
Bilan de liaison

Paramètre	Emission principale	Deuxième harmonique
Fréquence	858 MHz	1 716 MHz
Puissance mesurée	-7,35 dBm/MHz	-62,45 dBm/MHz
Gain d'antenne	7,8 dB	7,5 dB
Affaiblissement dû au câble	1,2 dB	1,5 dB
Affaiblissement en espace libre	31,2 dB	37,14 dB
Puissance rayonnée	17,23 dBm/MHz	-31,31 dBm/MHz

On estime que la suppression de la deuxième harmonique pour l'équipement d'utilisateur sur lequel les mesures ont été effectuées correspond à $17,23 \text{ dBm/MHz} - (-31,31 \text{ dBm/MHz}) = 48,54 \text{ dB}$.

Observation:

- Les rayonnements non désirés produits à la deuxième fréquence harmonique par l'équipement d'utilisateur sur lequel les mesures ont été effectuées sont inférieurs d'environ 1,5 dB à la limite.

6 Equipement d'utilisateur LTE2300

Dans certains pays européens, les systèmes LTE sont également utilisés dans la gamme des 2,3 GHz. Ce système est pour l'essentiel identique au système LTE800, à ceci près que la largeur des canaux types est de 20 MHz. Les paramètres radioélectriques pertinents sont les suivants:

Gamme de fréquences:	2 300 MHz-2 400 MHz
Modulation:	SC-FDMA
Largeur de bande:	de 180 kHz à 20 MHz
Puissance de l'émetteur:	en sortie d'émetteur et p.i.r.e jusqu'à 23 dBm (200 mW)
Filtre en sortie d'émetteur:	aucun
Fin du domaine des émissions hors bande:	décalage de 35 MHz par rapport à la fréquence centrale (voir le Tableau 4.2.4.1.2-1 de la norme ETSI EN 301 908-13).

La Figure 14 ci-après montre les résultats des mesures effectuées en laboratoire des rayonnements non désirés produits par deux équipements d'utilisateur LTE différents fonctionnant dans un canal de 20 MHz de la bande TDD attribuée pour les systèmes LTE à 2,3 GHz située dans la bande 2 370-2 390 MHz. Les mesures ont été enregistrées sous la forme d'une puissance quadratique moyenne dans une largeur de bande de résolution de 10 kHz, chaque équipement d'utilisateur émettant à la même puissance maximum (23 dBm) avec une modulation MAQ-16.

Pour des raisons analogues à celles indiquées au paragraphe 5, les mesures reposent sur deux équipements échantillons et le scénario de fonctionnement le plus défavorable pourra être très différent des résultats obtenus en raison du comportement dynamique qui caractérise les systèmes LTE 3GPP. Par exemple la configuration LTE utilisée (c'est-à-dire le nombre de blocs de ressources, leur emplacement dans le temps/fréquence, etc.) n'est pas toujours spécifiée.

Le graphique de la Figure 14 est normalisé pour une densité spectrale de puissance dans la bande dans une largeur de bande de 10 kHz.

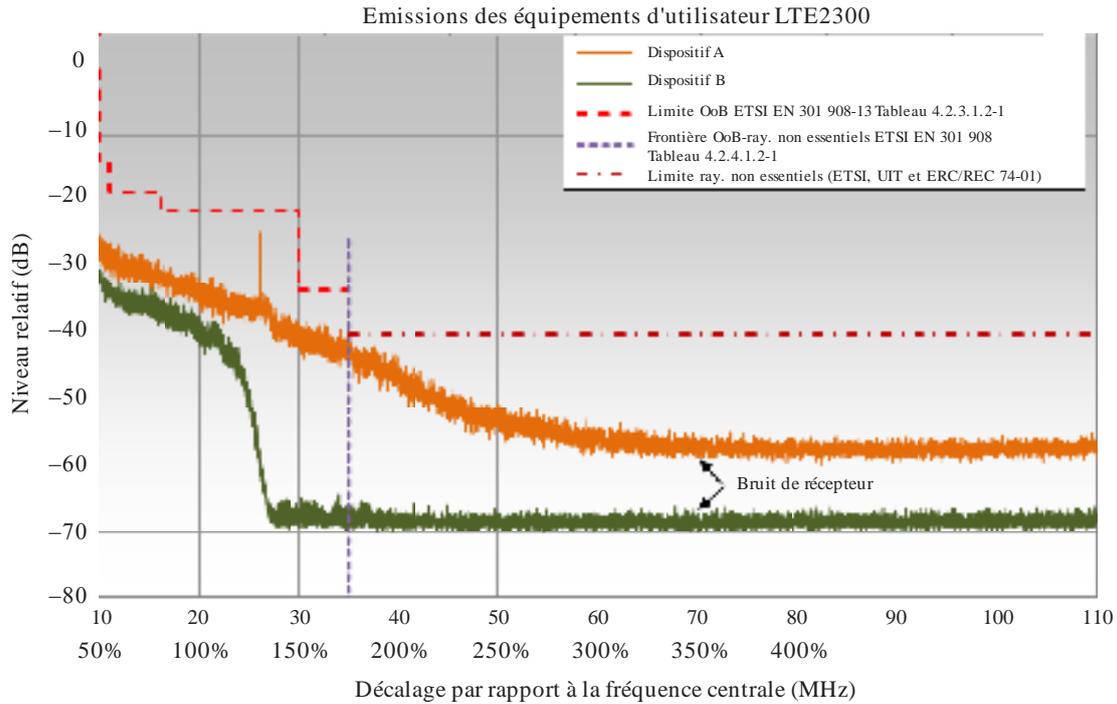
Etant donné que la Recommandation UIT-R SM.1541 ne donne pas de limites d'émissions hors bande pour ce type de système, la Fig. 14 montre le gabarit spectral de la norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.3.1.2-1) converti dans une largeur de bande de 10 kHz et comparé avec la densité spectrale de puissance dans la bande.

La norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.4.1.2-2), la Recommandation UIT-R SM329 (Cat. B pour les systèmes mobiles terrestres) et la Recommandation ERC/REC 74-01 (Tableau 2.1) donnent pour les rayonnements non essentiels une limite de -30 dBm dans une largeur de bande de 1 MHz. Etant donné que cette valeur s'applique à la sortie de l'émetteur, la limite réglementaire doit être convertie pour une puissance totale dans la bande de $200 \text{ mW} = 23 \text{ dBm}$ dans une bande de 20 MHz, ce qui correspond à une densité spectrale dans la bande de $23 \text{ dBm} - 10\log_{10}(20/1) = 10 \text{ dBm}$ dans une largeur de bande de 1 MHz. L'affaiblissement relatif des rayonnements non essentiels qui en découle est donc de $10 \text{ dBm} - (-30 \text{ dBm}) = 40 \text{ dB}$.

Il est à noter que la norme ETSI EN 301 908-13 (Tableau 4.2.4.1.2-1) définit la frontière du domaine des émissions hors bande pour les signaux LTE de 20 MHz comme étant située à un décalage de 35 MHz, ce qui correspond à 175% de la largeur de bande de canal.

FIGURE 14

Mesures des rayonnements non désirés produits par deux équipements LTE à 2,3 GHz
(puissance quadratique moyenne, largeur de bande de résolution = 10 kHz)



Rapport SM.2421-14

Observations concernant la Fig. 14:

- Il existe une différence notable entre les profils d'émission des deux dispositifs. Le dispositif A a une décroissance linéaire à l'exception d'un pic dans le domaine des émissions hors bande et respecte tout juste la limite des rayonnements non essentiels juste après la frontière entre les deux domaines. Le dispositif B montre une qualité de fonctionnement bien meilleure, avec une décroissance beaucoup plus nette dans le domaine des émissions hors bande.
- Les rayonnements non essentiels pour les décalages plus importants sont jusqu'à 30 dB inférieurs à la limite. Il convient cependant de noter que les mesures effectuées dans le domaine des rayonnements non essentiels sont limitées par la plage dynamique de l'équipement de mesure. Les rayonnements non désirés produits par les dispositifs pourraient par conséquent être encore plus bas que ceux mis en évidence dans la Fig. 14.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Equipements d'utilisateur LTE2300	Figure 14	Les rayonnements non essentiels pour les décalages plus importants sont jusqu'à 30 dB inférieurs à la limite. Il convient cependant de noter que les mesures effectuées dans le domaine des rayonnements non essentiels sont limitées par la plage dynamique de l'équipement de mesure. Les rayonnements non désirés produits par les dispositifs pourraient par conséquent être encore plus bas que ceux mis en évidence dans la Fig. 14.		

7 Station de base GSM900

Les paramètres radioélectriques pertinents des stations de base GSM900 sont les suivants:

Gamme de fréquences:	925 MHz – 960 MHz
Modulation:	GMSK
Largeur de bande occupée:	250 kHz
Espacement entre les canaux:	200 kHz
Fin du domaine des émissions hors bande:	décalage de 500 kHz par rapport à la fréquence centrale (règle des 250%, avec un espacement entre les canaux, voir la note 1)
Puissance de l'émetteur:	jusqu'à 46 dBm en sortie (type)
Filtre en sortie d'émetteur:	aucun

NOTE 1 – On utilise généralement un décalage de 500 kHz par rapport au début du domaine des rayonnements non essentiels dans les études de compatibilité. Dans les spécifications ETSI EN 302 408 V8.0.1 (§ 4.3.3.1) et EN 301 502 V12.1.1 (§ 4.2.5.1.3 et Tableau 4.2.5.1) applicables aux systèmes GSM, les rayonnements non essentiels sont définis comme commençant à 1,8 MHz du centre de la porteuse à l'intérieur d'une bande d'émission et à compter d'un décalage de 2 MHz par rapport au bord de la bande à l'extérieur de la bande d'émission.

Bien qu'aucun filtre de sortie externe ne soit appliqué, les émetteurs ont généralement un filtrage interne pour limiter les rayonnements non désirés dans les bandes adjacentes et protéger la bande utilisée par leurs propres récepteurs de liaison montante (880-915 MHz).

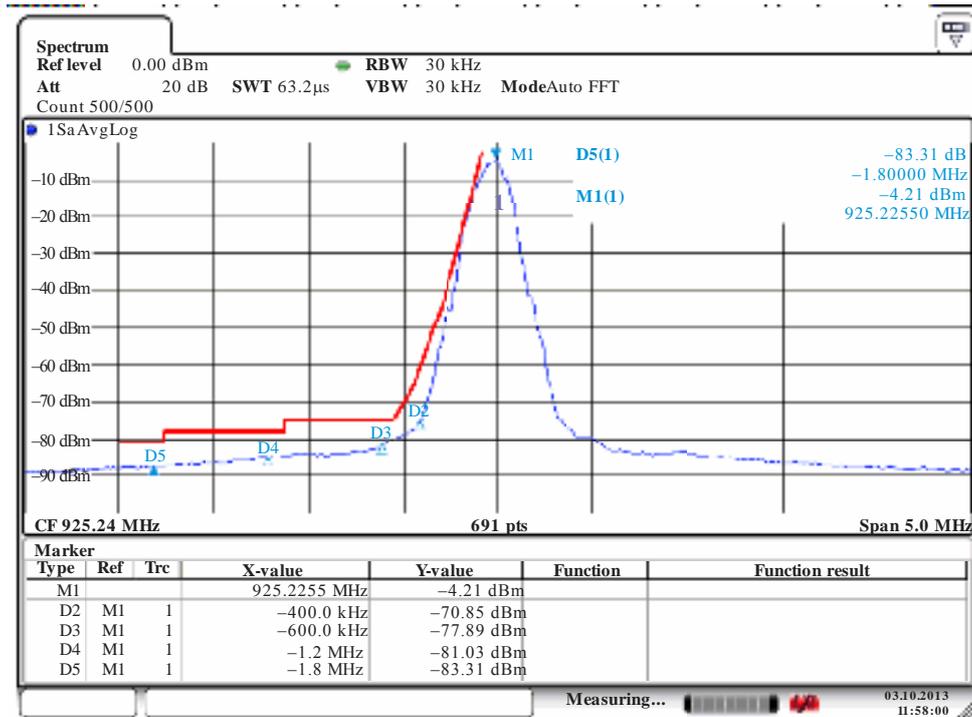
7.1 Emissions hors bande

La Recommandation UIT-R SM.1541 ne donne pas de limites spécifiques pour les émissions hors bande des systèmes GSM. La norme ETSI TS 145 005 ne donne pas d'exigences distinctes pour les émissions hors bande et les rayonnements non essentiels. Toutefois, le § 4.2.1 de la norme ETSI TS 145 005 relatif au spectre dû à la modulation et au bruit large bande définit un gabarit spectral (Tableau a2), § 4.2.1.3) qui peut être utilisé comme référence. Ce gabarit de référence est indiqué par la courbe rouge dans la Fig. 15.

La station de base sur laquelle les mesures ont été effectuées a été réglée sur le canal de fonctionnement le plus bas (#975), qui correspond à une fréquence centrale de liaison descendante de 925,2 MHz. L'analyseur de spectre a été réglé sur une largeur de bande de résolution de 30 kHz, avec un détecteur en valeur quadratique moyenne et affichage d'une trace de la valeur maximale.

FIGURE 15

Résultat des mesures du test effectué sur une station de base GSM900



Rapport SM.2421-1:

Observation concernant la Fig. 15:

- Sur la totalité de la gamme, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur à la limite fixée par l'ETSI, en particulier à un décalage de 400 kHz où il est inférieur de 10 dB environ au gabarit des émissions.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.1541	ETSI TS 145 005
GSM900	Figure 16	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	Sur la totalité de la gamme, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur à la limite fixée par l'ETSI, en particulier à un décalage de 400 kHz où il est inférieur de 10 dB environ au gabarit des émissions.

7.2 Rayonnements non essentiels

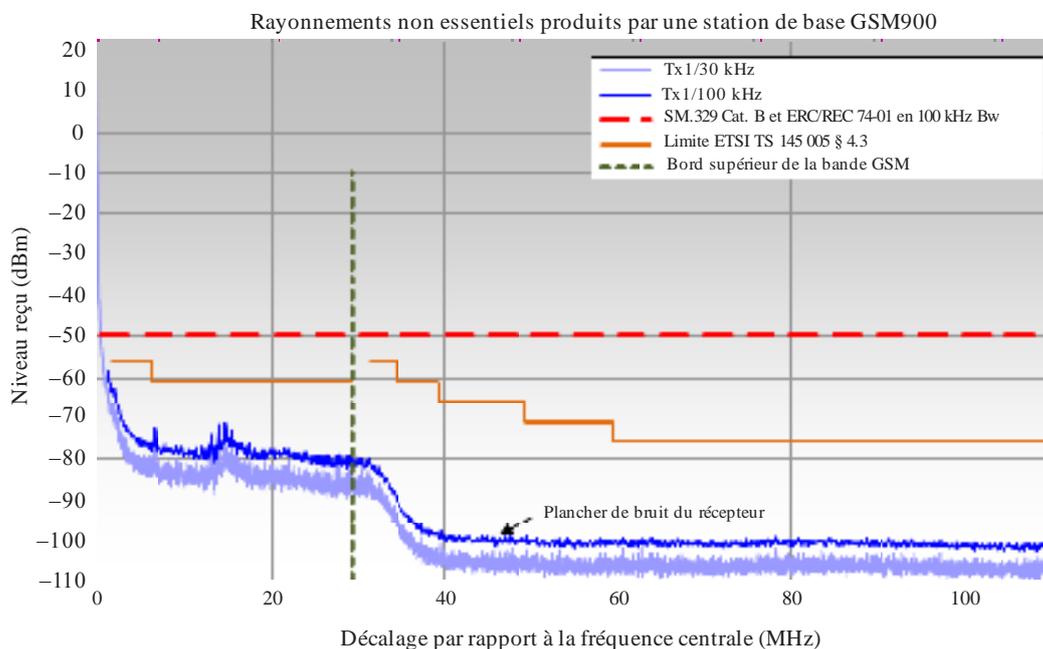
Les mesures ont été réalisées à la sortie de l'émetteur d'une station de base GSM commune sur la fréquence appelée «C1» (930,6 MHz) acheminant le canal de radiodiffusion. Bien que le système GSM soit un système TDMA et émette normalement en salves, il émet en continu et à pleine puissance sur la fréquence C1. Par conséquent, aucun déclenchement externe n'a été nécessaire pour mesurer le niveau quadratique moyen.

La Recommandation ERC/REC 74-01 et la Recommandation UIT-R SM.329 spécifient une limite des rayonnements non essentiels de -36 dBm dans une largeur de bande de 100 kHz pour la catégorie B, systèmes mobiles terrestres, stations de base. Dans ce cas, la puissance à la sortie de l'émetteur était de 42 dBm dans une largeur de bande de canal de 200 kHz. Par conséquent, cette limite correspondra à un affaiblissement relatif des rayonnements non essentiels de 42 dBm $- (-36$ dBm $+ 10 \cdot \log_{10}(200/100)) = 75$ dB. Le niveau reçu dans la bande pour la station de base testée était de $+20$ dBm dans une largeur de bande de mesure de 30 kHz, ce qui correspond à $+25$ dBm dans une largeur de bande de référence de 100 kHz. La limite donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 est par conséquent située à $+25$ dBm $- 75$ dB = -50 dBm sur le diagramme.

La norme ETSI TS 145 005 donne des limites assez complexes pour les rayonnements non essentiels, avec des spécifications différentes à l'intérieur et à l'extérieur de la bande attribuée pour les systèmes GSM. Toutefois, les valeurs qui en découlent sont beaucoup plus strictes que les valeurs générales données dans les Recommandations de l'UIT. Le bord supérieur de la bande utilisée pour les liaisons descendantes GSM est situé à 960 MHz. Lorsque la station de base testée utilise une fréquence d'émission à $930,6$ MHz, la frontière est à un décalage de $29,4$ MHz.

FIGURE 16

Rayonnements non essentiels produits par une station de base GSM900 (gamme de fréquences supérieures)



Rapport SM.2421-16

Observations concernant la Fig. 16:

- Les rayonnements non essentiels effectifs au-delà d'un décalage de 40 MHz pourraient même être inférieurs à ceux mis en évidence sur la figure en raison des limites de sensibilité de l'équipement de mesure.
- En dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, la limite des rayonnements non essentiels donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 pour la catégorie B (systèmes mobiles terrestres, stations de base) et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 est respectée avec une marge d'au moins 30 dB.

- En particulier en dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur de plus de 25 dB à la limite définie par l'ETSI dans [16] grâce au filtrage interne appliqué pour protéger les services dans les bandes adjacentes.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Station de base GSM900	Figure 16	En dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, la limite des rayonnements non essentiels donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 pour la catégorie B (systèmes mobiles terrestres, stations de base) et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 est respectée avec une marge d'au moins 30 dB.		En particulier en dehors de la bande assignée pour les systèmes GSM, le niveau des rayonnements non désirés est inférieur de plus de 25 dB à la limite définie indiquée dans la norme ETSI TS 145 005 grâce au filtrage interne appliqué pour protéger les services dans les bandes adjacentes.

La deuxième harmonique n'a pas été vue au-dessus du plancher de bruit du récepteur utilisé pour les mesures, ce qui signifie qu'elle était inférieure à -100 dBm (niveau pour l'équipement de réception dans une largeur de bande de 100 kHz), qui correspond à moins de -90 dBm (niveau d'émission dans une largeur de bande de 100 kHz). Des émissions ont été mesurées mais pas enregistrées au-dessus de la deuxième harmonique, car déjà au-dessus du plancher de bruit au-delà d'un décalage de 110 MHz, aucune émission n'a été constatée.

8 Systèmes DECT

La norme télécommunications numériques améliorées sans cordon (DECT) est couramment utilisée par de nombreux systèmes de communications personnelles. Etant donné qu'il s'agit d'un système TDMA, les parties fixe et portable émettent par salves. Les paramètres des systèmes sur lesquels les mesures ont été effectuées sont les suivants:

Fréquence de l'émetteur:	1 897,344 MHz
Modulation:	2-FSK
Puissance rayonnée:	250 mW = 24 dBm (salve moyenne)
Largeur de bande occupée:	1,15 MHz
Début du domaine des rayonnements non essentiels:	décalage de 2,875 MHz
Durée d'une salve:	90 μ s ou 368 μ s
Fréquence des salves:	10 ms
Largeur de bande de mesure:	100 kHz.

On a mesuré les émissions par rayonnement (voie hertzienne) car l'équipement n'a généralement pas de connecteur d'antenne externe. Les niveaux mesurés sont exprimés en valeur quadratique moyenne pendant les salves uniquement (niveau moyen d'une salve). On a eu recours à un déclenchement externe pour synchroniser la mesure avec les salves émises (voir l'Annexe 1 pour une description du montage utilisé pour les mesures).

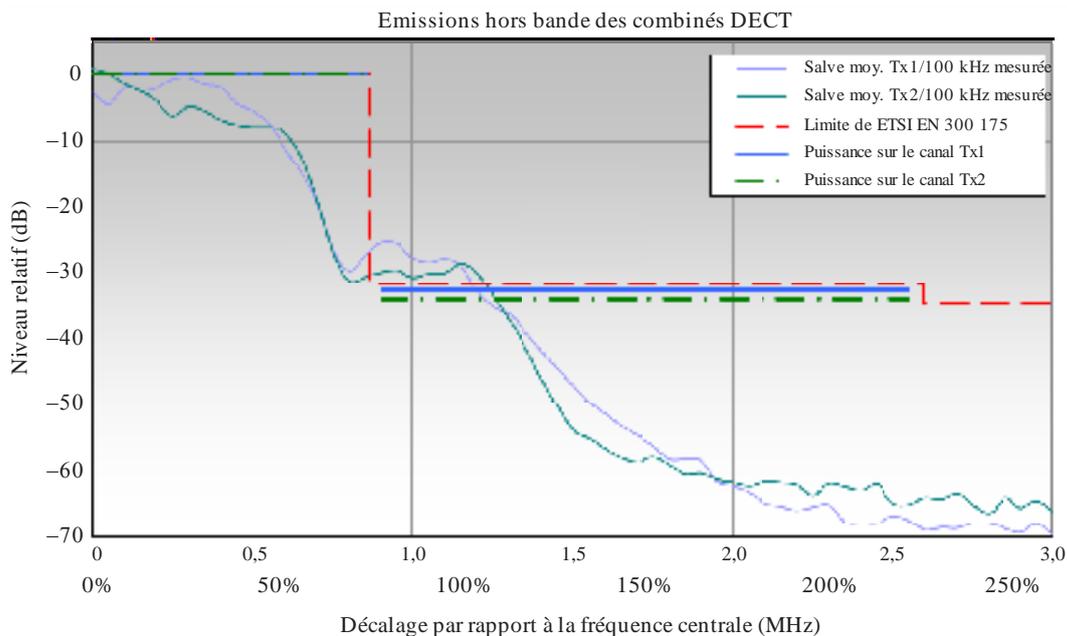
8.1 Emissions hors bande

Des mesures ont été effectuées sur deux combinés DECT de fabricants différents dans une largeur de bande de résolution de 100 kHz. Le spectre des émissions hors bande ainsi obtenu est indiqué par «Salve moy. Tx1/100 kHz» et «Salve moy. Tx2/100 kHz» dans la Fig. 17.

La Recommandation UIT-R SM.1541 n'a pas d'annexe spécifiant les limites des émissions hors bande pour les systèmes DECT. Par conséquent, on a utilisé comme référence le gabarit donné dans la norme ETSI EN 300 175-2 (§ 5.5.1 Tableau 1) applicable. Les limites des émissions hors bande sont définies sous la forme de niveaux de puissance dans la totalité de la largeur de bande de canal pour la référence de 0 dB et pour les émissions hors bande, par conséquent il n'a pas été nécessaire de convertir la largeur de bande. Pour faire une comparaison directe avec les limites, on a intégré les densités spectrales mesurées dans une largeur de bande de 1,15 MHz pour le canal utilisé et le canal adjacent. Les résultats sont présentés dans la Fig. 17 sous la forme de lignes horizontales («Puissance sur le canal Tx1» et «Puissance sur le canal Tx2»). L'axe de la Figure correspondant au niveau est normalisé pour une ligne de référence de 0 dB pour la puissance totale dans la bande.

FIGURE 17

Emissions hors bande des combinés DECT (gamme de fréquences supérieures)



Rapport SM.2421-17

Observations concernant la Fig. 17:

- On peut voir que les niveaux des émissions hors bande pour les deux dispositifs DECT pour lesquels des mesures ont été réalisées ne respectent pas les exigences définies dans la norme ETSI dans la plage de décalages d'environ 1 MHz.

- Etant donné que seules les émissions liées à la modulation peuvent être vues dans le domaine des émissions hors bande, on peut partir du principe que tous les dispositifs DECT auront presque le même spectre dans le domaine des émissions hors bande, auquel cas il semble qu'il y ait une marge considérable entre la limite des émissions hors bande et les émissions hors bande effectives, en particulier dans la plage du canal voisin avec un décalage de 2 MHz.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. ITU-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
DECT	Figure 17			Les niveaux des émissions hors bande pour les deux dispositifs DECT pour lesquels des mesures ont été réalisées ne respectent pas les exigences définies dans la norme ETSI dans la plage de décalages d'environ 1 MHz. Etant donné que seules les émissions liées à la modulation peuvent être vues dans le domaine des émissions hors bande, on peut partir du principe que tous les dispositifs DECT auront presque le même spectre dans le domaine des hors bande, auquel cas il semble qu'il y ait une marge considérable entre la limite des émissions hors bande et les émissions hors bande effectives, en particulier dans la plage du canal voisin avec un décalage de 2 MHz.

8.2 Rayonnements non essentiels

Pour le service DECT, la Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B, service mobile terrestre) et la Recommandation ERC/REC 74-01 spécifient une limite des rayonnements non essentiels de -30 dBm dans une largeur de bande de référence de 1 MHz. Avec une puissance d'émission de 24 dBm, cette limite correspond à un affaiblissement relatif des rayonnements non essentiels de 24 dBm $- (-30$ dBm) = 54 dB.

Le niveau équivalent à la réception mesuré dans le canal dans une largeur de bande de 1 MHz était de -12 dBm. Il est par conséquent possible de convertir l'axe de la Fig. 18 correspondant au niveau afin de rendre compte de la puissance rayonnée dans une largeur de bande de 1 MHz en ajoutant 36 dB pour tenir compte des pertes dans le montage. Dans la Fig. 18, la ligne correspondant à la suppression nécessaire de 54 dB pour les rayonnements non essentiels est située à -12 dBm $- 54$ dB = -66 dBm.

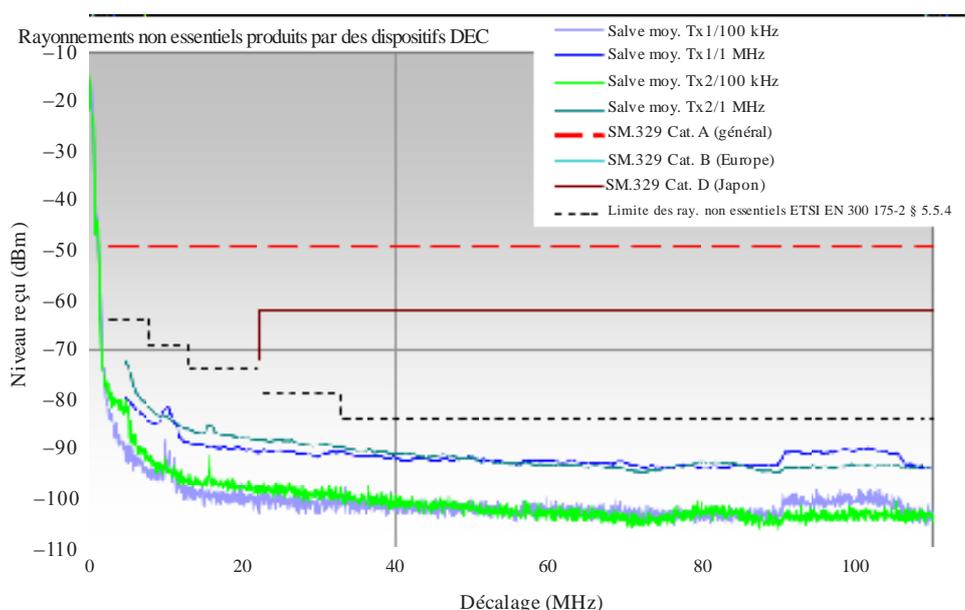
Le paragraphe 5.5.4 de la norme ESTI EN 300 175-2 spécifie une limite des rayonnements non essentiels de $1 \mu\text{W} = -30$ dBm au-dessus de la bande désignée pour les systèmes DECT. Les largeurs de bande de référence pour ce niveau sont comprises entre 30 kHz et 3 MHz, ce qui se traduit par une limite décroissante lorsqu'elle est ramenée à la largeur de bande de référence de 1 MHz utilisée pour la Fig. 18. On a forcé les dispositifs soumis aux mesures à émettre à 1 897,344 MHz, qui correspond au canal le plus élevé utilisé par les systèmes DECT en Europe. La bande désignée pour les systèmes DECT finit à 1 900 MHz, ce qui correspond à un décalage de 2,656 MHz.

Etant donné que les dispositifs DECT émettent en salves, les rayonnements non désirés n'ont été mesurés que pendant une salve au moyen d'un analyseur de spectre que l'on a déclenché. Pour plus de précisions sur le montage utilisé pour les mesures, voir l'Annexe 1, § 3, montage de type 3.

Une fenêtre flottante a été appliquée aux niveaux mesurés dans une largeur de bande de 100 kHz afin d'intégrer les niveaux dans la largeur de bande de référence de 1 MHz. Les courbes ainsi obtenues pour le spectre apparaissant en bleu foncé et en vert foncé ont été comparées aux limites dans la Fig. 18.

Pour comparer les niveaux mesurés avec la limite donnée dans la norme ETSI EN 300 175-2 v2.6.1, qui est définie sous la forme d'un niveau de puissance en crête, on a appliqué une réduction de 13 dB³ au calcul de la limite indiquée dans la Fig. 18, afin de rendre compte de la différence entre le niveau moyen et le niveau de crête des signaux semblables à du bruit.

FIGURE 18
**Rayonnements non essentiels produits par des dispositifs DECT
 (gamme des fréquences supérieures)**



Rapport SM.2421-18

Les harmoniques ont été mesurées séparément; les résultats sont donnés dans le Tableau 4:

TABLEAU 4

Niveaux des harmoniques produites par les stations de bases DECT soumises aux mesures

	Tx1			Tx2		
	Fréquence	Niveau/1 MHz	Affaiblissement	Fréquence	Niveau /1 MHz	Affaiblissement
Fondamentale	1 881,6 MHz	-6,0 dBm	0,0 dBc	1 890,4 MHz	-8,0 dBm	0,0 dBc
2ème harmonique	3 763,2 MHz	-80,0 dBm	74,0 dBc	3 780,8 MHz	-77,0 dBm	69,0 dBc
3ème harmonique	5 644,8 MHz	-79,0 dBm	73,0 dBc	5 671,2 MHz	-85,0 dBm	77,0 dBc
4ème harmonique	7 526,4 MHz	<-88 dBm	>82 dBc	7 561,6 MHz	<-88 dBm	>80 dBc

³ Ce chiffre a été obtenu de manière empirique. Il s'applique aux signaux semblables à du bruit lorsqu'ils sont mesurés sous la forme d'une crête et avec un détecteur en valeur quadratique moyenne.

Observations concernant les Fig. 17 et 18:

- Les résultats montrent que les limites des rayonnements non essentiels données dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 sont respectées avec une marge importante. Pour les décalages plus grands, les rayonnements non essentiels sont généralement inférieurs de 30 dB à ces limites.
- Comme pour les autres systèmes numériques, le décalage le plus critique est situé à la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels où Tx1 respecte les exigences pour la Cat. B avec une marge de 5 dB.
- Les limites des rayonnements non essentiels données dans la norme ETSI EN 300 175-2 sont respectées avec une marge qui est généralement de 10 dB.
- Tous les rayonnements harmoniques produits par les dispositifs soumis aux mesures sont très inférieurs aux limites des rayonnements non essentiels.

9 Stations de base UMTS 2100

Ce système mobile cellulaire 3G utilise une technique à étalement du spectre W-CDMA pour gérer des accès multiples. Il est très utilisé en Europe et partout dans le monde comme successeur de systèmes GSM. Les paramètres du système UMTS sont les suivants:

Gamme de fréquences:	2 110-2 170 MHz (Band I de liaison descendante FDD)
Modulation:	MDPQ
Largeur de bande:	5 MHz (canal)
Filtre d'émetteur externe:	aucun
Début du domaine des rayonnements non essentiels:	décalage de 12,5 MHz (règle des 250%).

Bien qu'aucun filtrage supplémentaire n'ait été appliqué à la sortie de l'émetteur, il faut partir du principe qu'un certain filtrage interne est appliqué en vue de protéger la bande de réception de la station de base et, possiblement, les services dans les bandes adjacentes.

9.1 Emissions hors bande

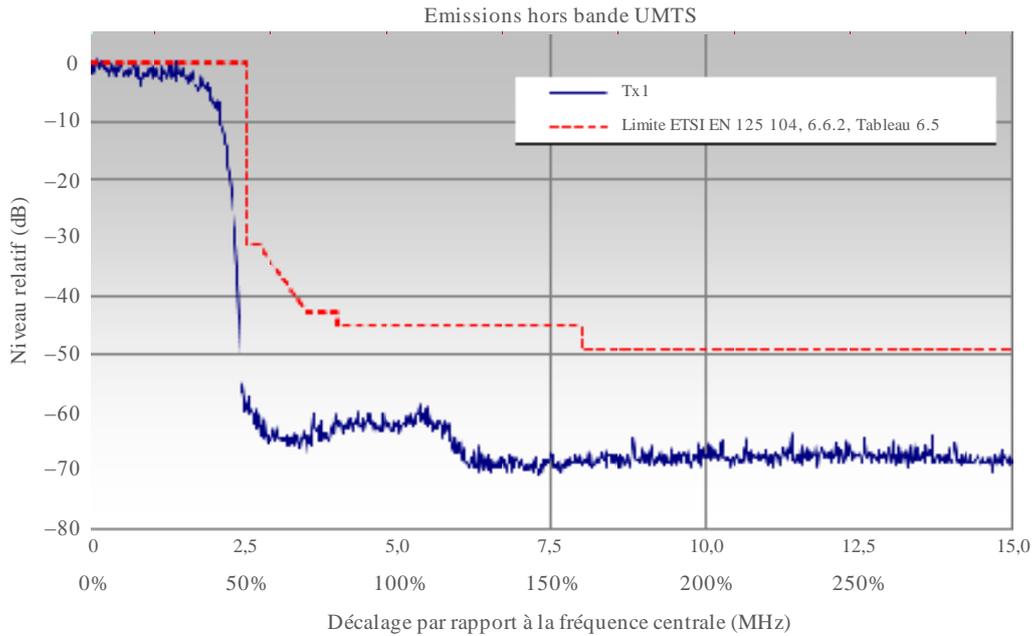
Les mesures ci-après des émissions hors bande ont été réalisées à la sortie de l'émetteur. Les paramètres radioélectriques pertinents des stations sur lesquelles les mesures ont été faites sont les suivants:

Fréquence de l'émetteur:	2 152 MHz (centre)
Puissance de l'émetteur:	3W/35 dBm (valeur quadratique moyenne à la sortie de l'émetteur)
Largeur de bande de mesure:	4 kHz.

Le spectre mesuré apparaissant dans la Fig. 19 ci-après montre les niveaux relatifs en dB normalisés pour une densité spectrale de puissance maximum dans une largeur de bande de mesure de 4 kHz.

La Recommandation UIT-R SM.1541 ne donne pas de limites pour les systèmes W-CDMA. Par conséquent, les limites définies dans la norme ETSI 125 104 (Chapitre 6.6.2.1, Tableau 6.5) sont indiquées. Etant donné qu'elles sont exprimées pour des largeurs de bande de référence comprises entre 30 kHz et 1 MHz, la limite apparaissant dans la Figure ci-dessous a été obtenue après correction de la largeur de bande et normalisation pour une densité spectrale de puissance mesurée dans la bande.

FIGURE 19
Emissions hors bande produites par une station de base UMTS



Rapport SM.2421-19

Observations concernant la Fig. 19:

- Les résultats montrent que la limite définie dans la norme ETSI TS 125 104 est largement respectée. Les émissions hors bande sont inférieures d'au moins 15 dB au gabarit.
- Les rayonnements non désirés dus à la modulation disparaissent déjà dans le bruit large bande de l'amplificateur à des décalages d'environ 125% de la largeur de canal.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. ITU-R SM.1541	ETSI TS 125 104, Chapitre 6.6.2.1, Tableau 6.5
Station de base UMTS	Figure 19	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	Les émissions hors bande sont inférieures d'au moins 15 dB au gabarit. Les rayonnements non désirés dus à la modulation disparaissent déjà dans le bruit large bande de l'amplificateur à des décalages d'environ 125% de la largeur de canal.

9.2 Rayonnements non essentiels

La Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B (Europe) pour le service mobile terrestre (stations de base)), le Tableau 6.9 de la norme ETSI EN 125 104 et le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 spécifient un niveau maximum pour les rayonnements non essentiels de -30 dBm/MHz. Le § 6.6.3 de la norme ETSI [18] définit les conditions d'application de la limite des rayonnements non essentiels pour des décalages de plus de 12,5 MHz au-dessous de la première fréquence porteuse utilisée dans la bande UMTS ou de plus de 12,5 MHz au-dessus de la dernière fréquence porteuse utilisée.

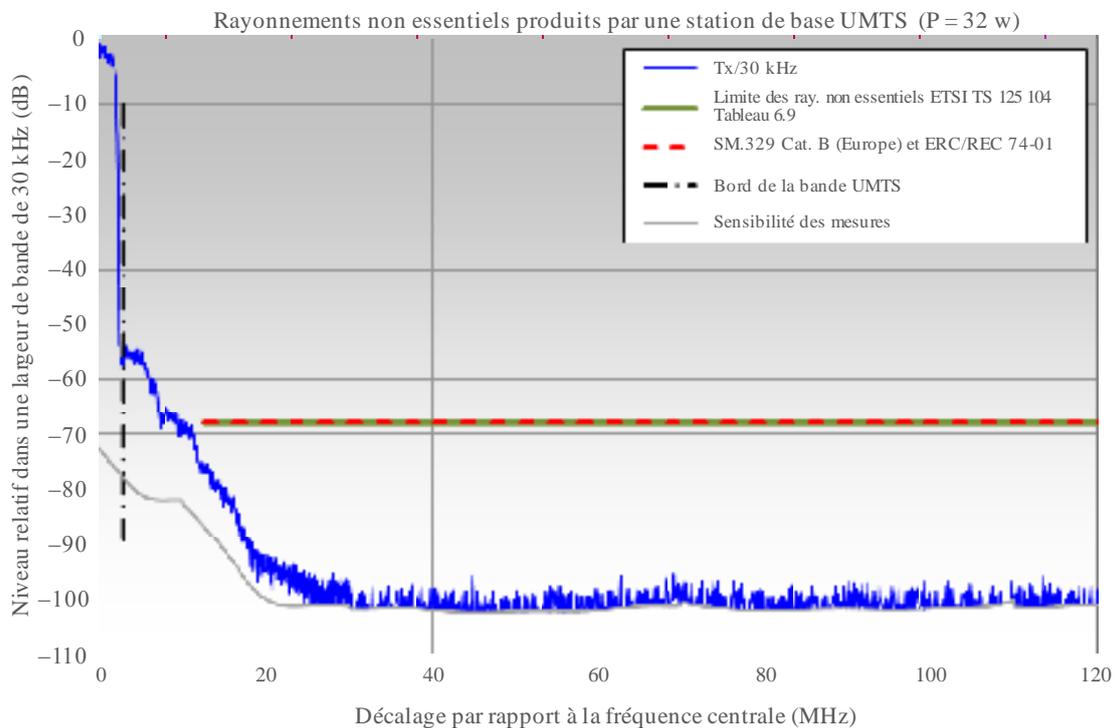
La Figure 20 montre une mesure des émissions par rayonnement produites par une station de base UMTS fonctionnant sur le canal le plus élevé dans la bande UMTS I. Les paramètres radioélectriques pertinents sont les suivants:

Fréquence de l'émetteur:	2 167,2 MHz (fréquence centrale)
Puissance de l'émetteur:	32 W/41,5 dBm (valeur quadratique moyenne à la sortie de l'émetteur)
Largeur de bande:	5 MHz (Canal)
Largeur de bande de mesures:	30 kHz.

Dans la Fig. 20, les niveaux sont normalisés pour une densité spectrale de puissance dans la bande dans une largeur de bande de 30 kHz. La limite de -30 dB est définie dans une largeur de bande de 1 MHz. La conversion en largeur de bande UMTS de 5 MHz est $10 \cdot \log_{10}(5) = 7$ dB. Avec cette correction et une normalisation pour une densité spectrale de puissance dans la bande, la limite apparaît à -30 dBm $- (45,1$ dBm $- 7$ dB) $= -68$ dB dans la Figure.

FIGURE 20

Rayonnements non essentiels produits par une station de base UMTS



Rapport SM.2421-20

Observations concernant la Fig. 20:

- Bien qu'elle émette sur le canal le plus élevé et constitue donc le cas le plus critique concernant le respect des limites des rayonnements non essentiels, la station soumise aux mesures respecte ces limites avec une marge de 10 dB environ, même au début du domaine des rayonnements non essentiels.
- Pour des décalages de plus de 20 MHz, les limites sont respectées avec une marge d'au moins 30 dB. Les rayonnements non essentiels effectifs pour ces décalages sont même inférieurs à ceux indiqués sur la figure. On est limité par la sensibilité des mesures.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. ITU-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Station de base UMTS	Figure 20	<p>Bien qu'elle émette sur le canal le plus élevé et constitue donc le cas le plus critique concernant le respect des limites des rayonnements non essentiels, la station soumise aux mesures respecte ces limites avec une marge de 10 dB environ, même au début du domaine des rayonnements non essentiels.</p> <p>Pour des décalages de plus de 20 MHz, les limites sont respectées avec une marge d'au moins 30 dB. Les rayonnements non essentiels effectifs pour ces décalages sont même inférieurs à ceux indiqués sur la figure. On est limité par la sensibilité des mesures.</p>		

10 Dispositifs RLAN dans la bande des 2,4 GHz

De très nombreux dispositifs RLAN ou WLAN sont utilisés partout dans le monde. Le service applique la norme IEEE 802.11 [28]. En fonction de la variante de cette norme, une fréquence située dans les gammes au voisinage de 2,4 GHz ou 5,6 GHz est utilisée. Les paramètres sont les suivants:

Modulation:	MDPQ ou OFDM
Puissance rayonnée max.:	100 mW = 20 dBm (salve moyenne)
Largeur de bande:	16 MHz environ
Fin du domaine des émissions hors bande:	décalage de 40 MHz (règle des 250%)
Durée de la salve:	variable, en fonction du trafic, par exemple: 100 μ s
Fréquence des salves:	variable, en fonction du trafic, par exemple: 10 ms.

10.1 Emissions hors bande

Des mesures ont été effectuées sur trois dispositifs WLAN différents:

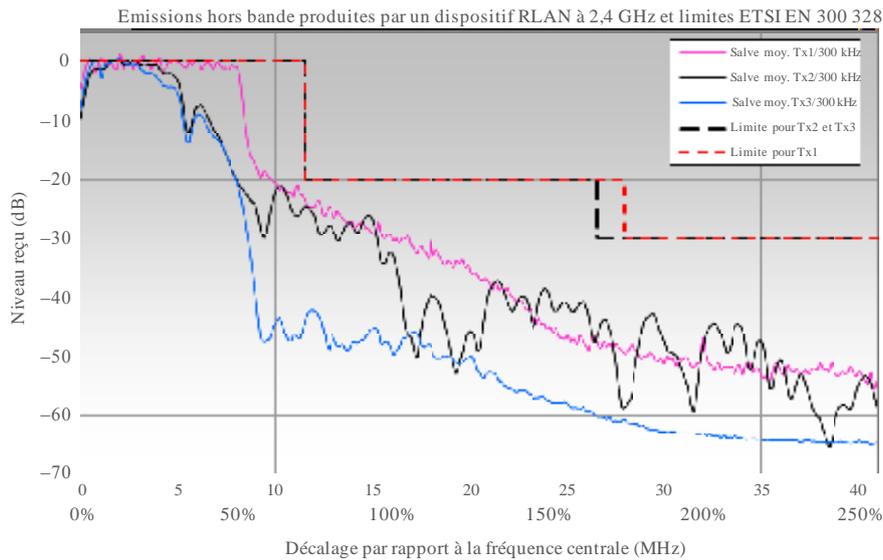
- Tx1: point d'accès RLAN fonctionnant en mode 802.11g (OFDM), mesure des émissions par rayonnement;
- Tx2: routeur RLAN fonctionnant en mode 802.11b (DSSS), mesuré à la sortie de l'émetteur;
- Tx3: smartphone avec capacité RLAN fonctionnant en mode 802.11b (DSSS), mesure des émissions par rayonnement.

Étant donné que la Recommandation UIT-R SM.1541 n'a pas d'annexe spécifiant les limites des émissions hors bande pour les dispositifs SRD, on a utilisé le gabarit donné au § 4.3.2.8.3 de la norme ETSI EN 300 328 V1.9.1 [19]. La définition des limites des émissions hors bande en dehors de la bande attribuée dépend de la largeur de bande occupée (OBW), qui était de 16,5 MHz pour Tx1 et de 15 MHz pour Tx2 et Tx3. Lors des mesures, les trois émetteurs fonctionnaient tous dans le canal le plus élevé dans la bande avec une fréquence centrale de 2 472 MHz. La limite par rapport au bord de la bande (2 480 MHz) et 2 480 + OBW est de -10 dBm/MHz, tandis qu'entre 2 480 + OBW et 2 480 + 2*OBW, elle est de -20 dBm/MHz (voir la Fig. 21 pour une illustration de ce phénomène).

Les niveaux donnés dans la Fig. 21 montrent les valeurs relatives en dB et sont normalisés afin que 0 dB corresponde à la densité spectrale de puissance dans la bande maximum dans une largeur de bande de mesure de 300 kHz. Les limites sont elles aussi normalisées pour une largeur de bande de 300 kHz afin de pouvoir faire une comparaison directe.

FIGURE 21

Emissions hors bande produites par les systèmes RLAN



Rapport SM.2421-21

Observation concernant la Fig. 21:

- Les trois dispositifs soumis aux mesures respectent tous les limites des émissions hors bande données dans la norme ETSI EN 300 328. A un décalage de 250%, les émissions hors bande sont généralement inférieures de plus de 20 dB à la limite.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. ITU-R SM.1541	ETSI EN 300 328
RLAN	Figure 21	Aucune information concernant les limites des émissions hors bande pour ce type d'application dans cette Recommandation.	A un décalage de 250%, les émissions hors bande sont généralement inférieures de plus de 20 dB à la limite.

10.2 Rayonnements non essentiels

Pour les systèmes RLAN, le Tableau 2.1 (numéro de référence 2.1.2) de la Recommandation ERC/REC 74-01 et la Recommandation UIT R SM.329 spécifient une limite des rayonnements non essentiels de -30 dBm dans une largeur de bande de 1 MHz pour l'Europe (Cat. B).

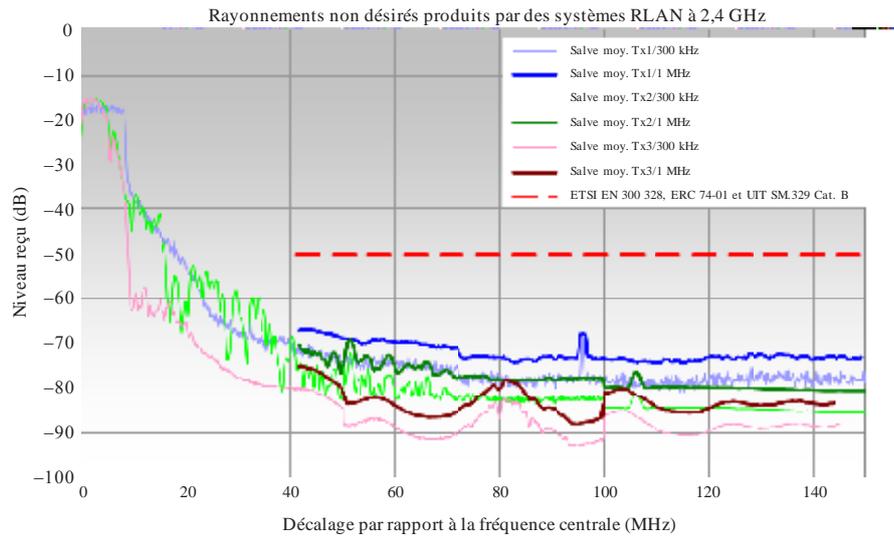
Le Tableau 1 du § 4.3.1.10.3 de la norme ETSI EN 300 328 spécifie pour les émetteurs à bande étendue un niveau des rayonnements non essentiels de -30 dBm dans une largeur de bande de 1 MHz pour la gamme de fréquences comprises entre 1 GHz et 12,75 GHz.

Les mesures ont été réalisées sur Trois dispositifs RLAN identiques à ceux utilisés pour mesurer les émissions hors bande présentées dans la Fig. 21, avec une largeur de bande de mesure de 300 kHz. Afin de pouvoir faire une comparaison directe avec les limites, une fenêtre d'intégration flottante de 1 MHz a été appliquée pour convertir les valeurs mesurées pour la largeur de bande de référence de 1 MHz. Étant donné que la Fig. 22 est normalisée pour une puissance totale dans la bande de 20 dBm, la limite de -30 dBm donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la norme ETSI EN 300 328 correspond à un niveau relatif de -50 dB.

Les niveaux indiqués sur le graphique peuvent être convertis directement en niveaux rayonnés dans une largeur de bande de 1 MHz en ajoutant 20 dB.

FIGURE 22

Rayonnements non essentiels produits par des systèmes RLAN



Rapport SM.2421-22

Observation:

- Même les limites les plus strictes données dans la Recommandation UIT-R SM.329 sont respectées avec une marge comprise généralement entre 20 et 30 dB.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. ITU-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
RLAN	Figure 22	Les limites sont respectées avec une marge comprise généralement entre 20 et 30 dB.		

11 Equipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz

Le système WiMAX est un système d'accès hertzien large bande. La bande utilisée pour les systèmes WiMAX a les caractéristiques radioélectriques suivantes:

Gamme de fréquences: 3 600-3 800 MHz

Modulation: OFDM

Largeur de bande: 10 MHz (canal).

11.1 Rayonnements non essentiels

La limite des rayonnements non essentiels donnée dans le Tableau 2.1 de la Recommandation ERC/REC 74-01 est de -30 dBm/MHz. La même limite est définie dans la Recommandation UIT-R SM.329 pour les fréquences au-dessus de 1 GHz. Le § 4.2.4 de la norme ETSI EN 301 908-21 définit les limites des rayonnements non essentiels des émetteurs des équipements d'utilisateur FDD (Mobile WiMAX) des réseaux WMAN TDD OFDMA.

La Figure 23 montre les rayonnements non essentiels d'une ligne de production de terminaux WiMAX dans la bande adjacente utilisée par des radars, mesurés directement à la sortie de l'émetteur. Les paramètres radioélectriques ci-après sont utiles pour cette mesure:

Fréquence de l'émetteur: 3 620 MHz (plus bas canal utilisable pour les liaisons montantes)

Puissance de l'émetteur: 27 dBm/500 mW (en sortie d'émetteur)

Filtre externe d'émetteur: aucun

Début du domaine des rayonnements non essentiels: décalage de 25 MHz (règle des 250%)

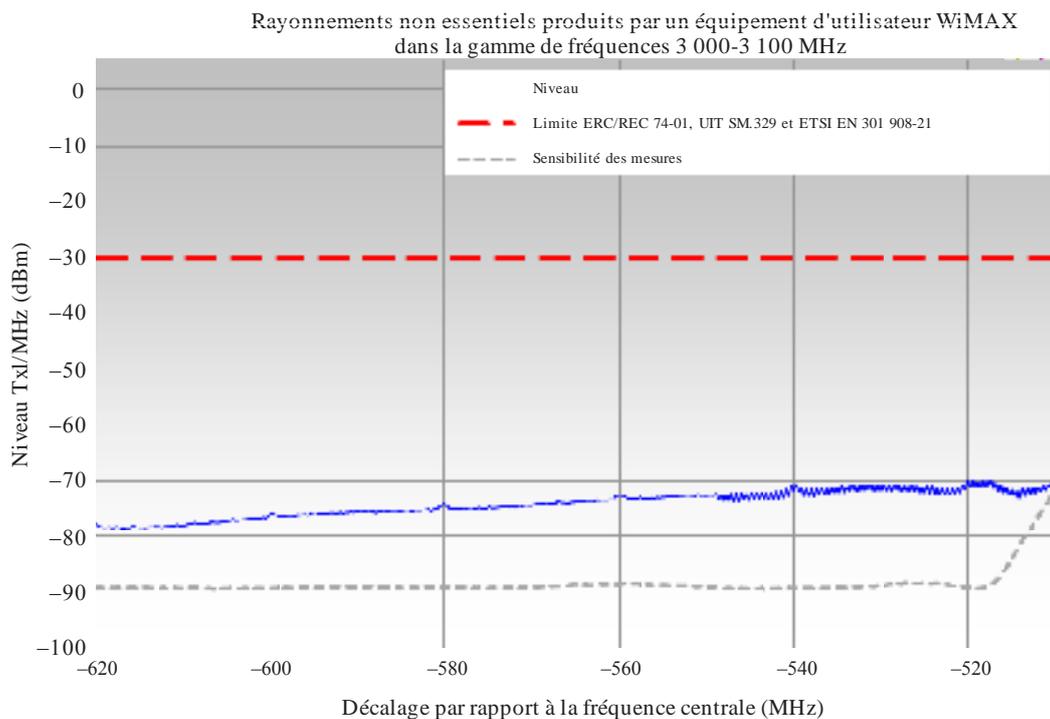
Largeur de bande de mesure: 1 MHz.

Bien qu'aucun filtrage supplémentaire n'ait été appliqué à la sortie de l'émetteur, il faut partir du principe qu'un certain filtrage interne est appliqué en vue de protéger la bande de réception de liaison descendante et les services dans les bandes adjacentes.

La largeur de bande de mesure et la largeur de bande de références étant égales, aucune conversion n'est nécessaire.

FIGURE 23

Equipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz – Emissions dans la bande de fréquences utilisée par des radars



Rapport SM.2421-23

Observations concernant la Fig. 23:

- Bien que les mesures couvrent seulement une petite gamme de fréquences à un décalage très élevé, on peut voir que les limites sont respectées avec une marge d'au moins 40 dB.
- Même à des décalages de fréquences très élevés, le niveau des rayonnements non essentiels dépend de la fréquence et tend à diminuer à mesure que les décalages augmentent.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Équipement d'utilisateur WiMAX à 3,6 GHz	Figure 23	Bien que les mesures couvrent seulement une petite gamme de fréquences à un décalage très élevé, on peut voir que les limites sont respectées avec une marge d'au moins 40 dB.		

12 Liaisons point à point à 25 GHz

Ces systèmes point à point sont couramment utilisés pour raccorder les stations de base du service mobile public (par exemple GSM, UMTS, LTE). En fonction du débit de données requis, différentes largeurs de bande pouvant aller jusqu'à 50 MHz sont attribuées. Les caractéristiques habituelles pour ce type d'équipement sont les suivantes:

Gamme de fréquences:	25,1-26,5 GHz
Modulation:	MDPQ ou MAQ
Largeur de bande:	3,5 MHz – 50 MHz (canal)
Puissance de l'émetteur:	-10 dBm – 24 dBm (en sortie d'émetteur).

Bien qu'aucun filtre externe ne soit appliqué, on peut considérer qu'un filtrage interne est appliqué en vue de protéger le récepteur vis-à-vis du signal venant de la station dans le sens de liaison opposé.

12.1 Emissions hors bande

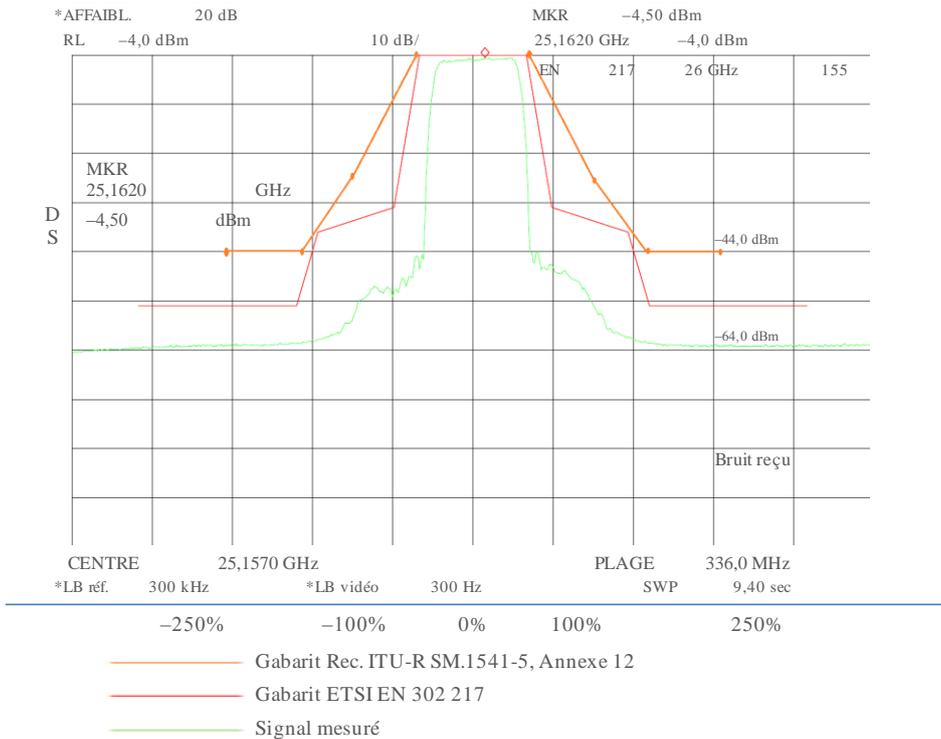
La Figure 24 montre une mesure par conduction des rayonnements non désirés produits par un dispositif de liaison point à point à 25 GHz. Les paramètres radioélectriques pertinents sont les suivants:

Fréquence centrale:	25,157 GHz
Modulation:	MAQ-64
Largeur de bande:	40 MHz (canal)
Puissance de l'émetteur:	17 dBm (en sortie d'émetteur)
Filtre externe d'émetteur:	aucun
Largeur de bande de mesure:	300 kHz.

Les niveaux donnés dans la Fig. 24 sont normalisés pour une densité spectrale de puissance dans la bande maximum dans une largeur de bande de 300 kHz. Les limites génériques des émissions hors bande pour le service fixe sont tirées de l'Annexe 12 de la Recommandation UIT-R SM.1541, tandis que les limites spécifiques pour ce type de systèmes sont tirées du § 4.2.4.2.1 de la norme ETSI EN 302 217-2-2 et converties en niveaux relatifs dans une largeur de bande de 300 kHz.

FIGURE 24

Rayonnements non désirés produits par une liaison point à point à 25 GHz



Rapport SM.2421-24

Pour les mesures effectuées à des décalages de plus de ± 75 MHz, on est limité par la sensibilité du récepteur. Dans la pratique, les rayonnements non désirés dans ces plages de décalages sont même supérieurs à ceux indiqués sur la figure.

Observations concernant la Fig. 24:

- Les limites génériques de type «filet de sécurité» des émissions dans le domaine des émissions hors bande pour le service fixe indiquées dans l'Annexe 12 de la Recommandation UIT-R SM.1541 sont respectées avec une marge d'environ 20 dB.
- La limite spécifique tirée du § 4.2.4.2.1 de la norme ETSI EN 302 217-2-2 est respectée avec une marge d'au moins 10 dB.

En ce qui concerne les caractéristiques et les niveaux des émissions hors bande, ces mesures supplémentaires mettent en évidence la même tendance que les résultats présentés dans la Fig. 24.

Système	Figure	Comparaison avec:	
		Rec. UIT-R SM.1541	ETSI EN 302 217-2-2, § 4.2.4.2.1
Liaison point à point à 25 GHz	Figure 24	Les limites génériques de type «filet de sécurité» des émissions dans le domaine des émissions hors bande pour le service fixe indiquées dans l'Annexe 12 de la Recommandation UIT-R SM.1541 sont respectées avec une marge d'environ 20 dB.	La limite spécifique est respectée avec une marge d'au moins 10 dB.

12.2 Rayonnements non essentiels

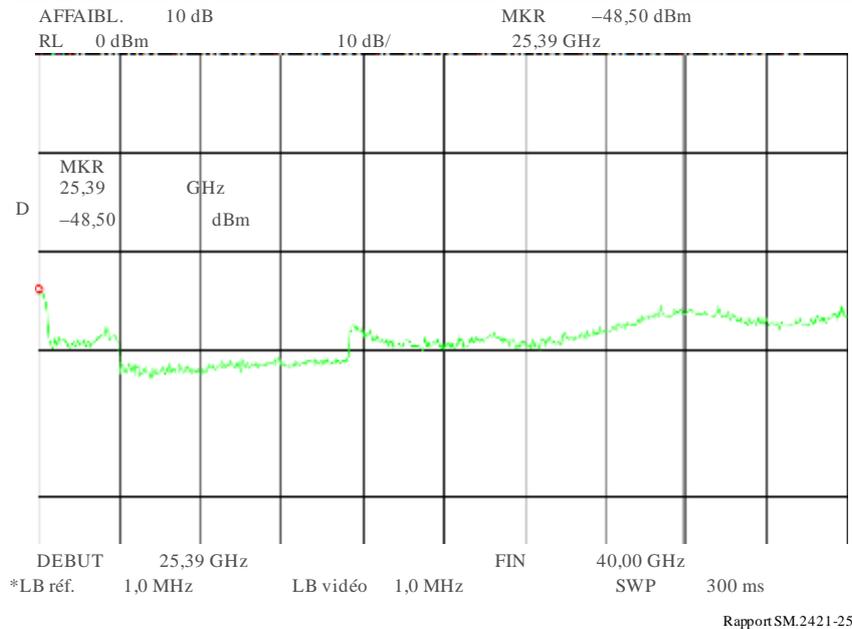
La limite des rayonnements non essentiels figurant dans la Recommandation ERC/REC 74-01 ainsi que dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Cat. B/Europe) est de -30 dBm/MHz.

Concernant les limites des rayonnements non essentiels, la norme ETSI EN 301 390 renvoie elle aussi dans son § 4.1.1 aux limites données dans la Recommandation ERC/REC 74-01.

Des mesures des rayonnements non essentiels ont été effectuées sur plusieurs dispositifs point à point fonctionnant dans la gamme des 25 GHz avec différentes largeurs de bande de canal. La figure ci-dessous montre un exemple type des rayonnements non essentiels au début de la gamme des rayonnements non essentiels qui est généralement la plus critique, jusqu'à 40 GHz. Le même dispositif que celui utilisé pour le domaine des émissions hors bande ci-dessus est présenté. La largeur de bande de mesure était de 1 MHz. Le niveau de référence de 0 dB est la densité spectrale de puissance dans la bande dans une largeur de bande de 1 MHz.

FIGURE 25

Rayonnements non essentiels produits par une liaison point à point à 25 GHz



Rapport SM.2421-25

Observation concernant la Fig. 25:

- La limite des rayonnements non essentiels est respectée avec une marge de plus de 20 dB.

Système	Figure	Comparaison avec:		
		Rec. UIT-R SM.329	ERC/REC 74-01	ETSI
Liaison point à point à 25 GHz	Figure 25	La limite des rayonnements non essentiels est respectée avec une marge de plus de 20 dB.		

Les mesures des rayonnements non essentiels produits par le même équipement pour d'autres gammes de fréquences (par exemple 28 GHz, 32 GHz, 38 GHz dans la gamme de fréquences allant de 25,157 GHz à 40 GHz dans laquelle des mesures ont été réalisées) ont en outre montré que pour des décalages de fréquence plus importants, les niveaux sont même inférieurs à ceux attendus au niveau physique.

Concernant les caractéristiques et les niveaux des émissions hors bande, ces mesures supplémentaires mettent en évidence la même tendance que les résultats présentés dans la Fig. 25.

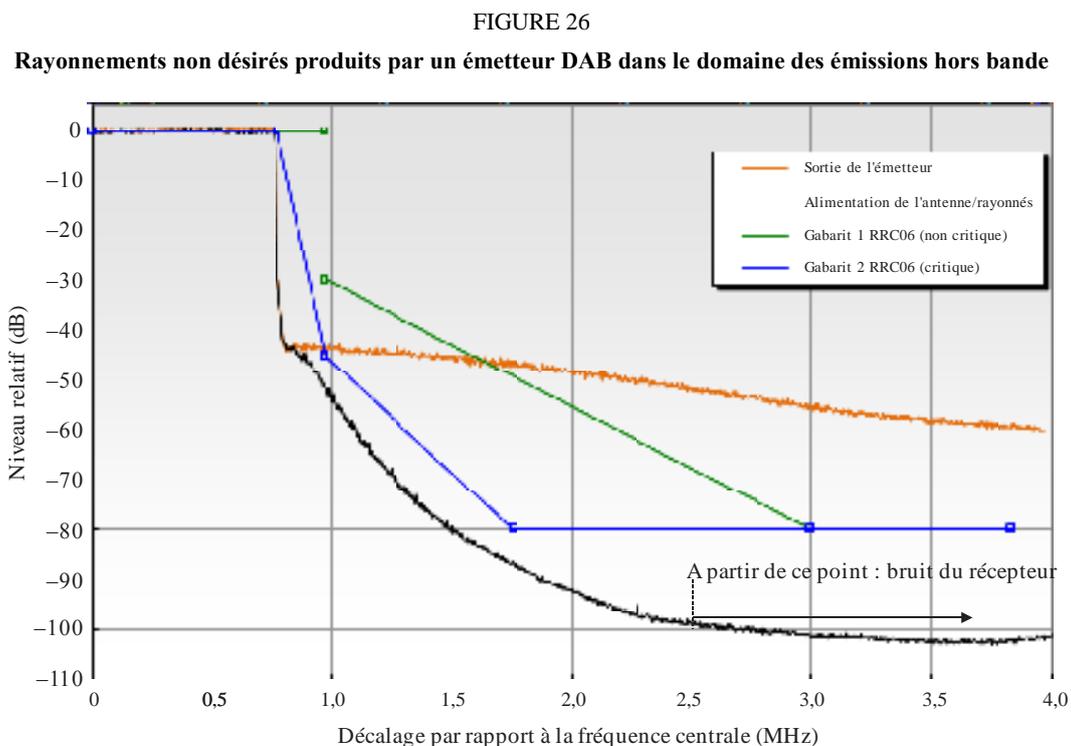
13 Systèmes avec filtre et systèmes sans filtre

La gestion des fréquences aux niveaux national et international exige souvent une réduction importante des rayonnements non désirés lors de l'attribution d'une bande de fréquences à un service donné, afin d'éviter que des services radioélectriques fonctionnant dans des bandes voisines subissent des brouillages. Dans la plupart des cas, ces exigences ne peuvent être respectées qu'avec l'application d'un filtrage physique supplémentaire dans ou après le dernier étage de l'émetteur. Lorsque les filtres correspondants sont déployés, le niveau des rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels dépend pour beaucoup de la fréquence. En outre, le niveau absolu des rayonnements non désirés est souvent si bas qu'il ne peut être mesuré. Dans ce cas, les rayonnements non essentiels ne peuvent pas causer de brouillages préjudiciables à d'autres services de radiocommunication et pourront par conséquent être négligés dans les études de compatibilité/partage.

Par exemple les stations de base DAB et LTE et les systèmes DVB-T appliquent toujours des filtres à la sortie de l'émetteur.

13.1 Systèmes DAB

La Figure 26 montre les rayonnements non désirés produits par un émetteur DAB mesurés directement à la sortie de l'émetteur et après le filtre supplémentaire à l'alimentation de l'antenne.



Rapport SM.2421-26

Observations concernant la Fig. 26:

- Le spectre obtenu sans filtre ne peut pas respecter le gabarit 1 (non critique) et le gabarit 2 (critique) définis dans l'Accord GE-06, qui sont les gabarits d'émissions hors bande à appliquer en Europe.

- Le spectre obtenu avec filtre réduit les rayonnements non désirés de manière significative même dans le domaine des émissions hors bande.
- Les émissions hors bande dans le domaine des rayonnements non essentiels ne sont pas mesurables et sont même inférieures dans la pratique au niveau de bruit indiqué dans la Fig. 26.

13.2 Station de base LTE800

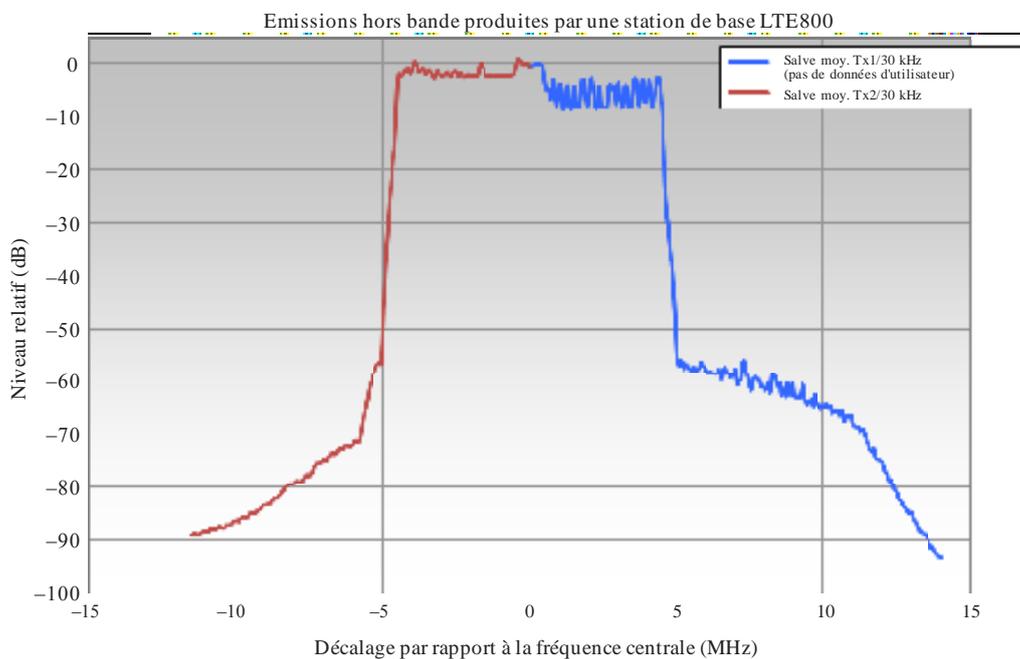
Les exigences concernant la suppression des émissions dans les bandes adjacentes peuvent aboutir à des émissions hors bande «asymétriques», car des filtres doivent être appliqués en vue de supprimer les émissions uniquement dans la bande de fréquences adjacente inférieure ou supérieure.

La Figure 27 montre les émissions hors bande produites par deux stations de base LTE800 différentes, fonctionnant toutes deux sur le canal LTE le plus bas (796 MHz). La moitié supérieure vient d'un émetteur en mode repos (Tx1), par conséquent la puissance dans la bande des sous-porteuses est inférieure à celle de Tx2.

On peut voir que les émissions hors bande à proximité du canal utile sont bien moins élevées dans la bande latérale inférieure car un filtre à pente brute doit être appliqué afin de protéger la bande DVB-T immédiatement adjacente.

FIGURE 27

Spectre des émissions hors bande asymétriques produites par une station de base LTE800



14 Emissions transitoires dans les systèmes numériques à impulsions

De nombreux systèmes TDMA produisent des rayonnements non désirés que l'on appelle «émissions transitoires». Il s'agit d'émissions qui sont produites pendant un laps de temps très court lorsque l'émetteur s'allume et s'éteint au début et à la fin de chaque salve. Le même effet se produit dans certains systèmes OFDM lorsque les symboles transmis changent. La conception interne de certains systèmes TDMA peut également être à l'origine du fait que le dernier étage de l'émetteur (amplificateur de puissance) reste allumé en continu, tandis que les salves, y compris pour la

synchronisation du début et de la fin, sont générées par le processeur de signaux numériques dans la bande de base.

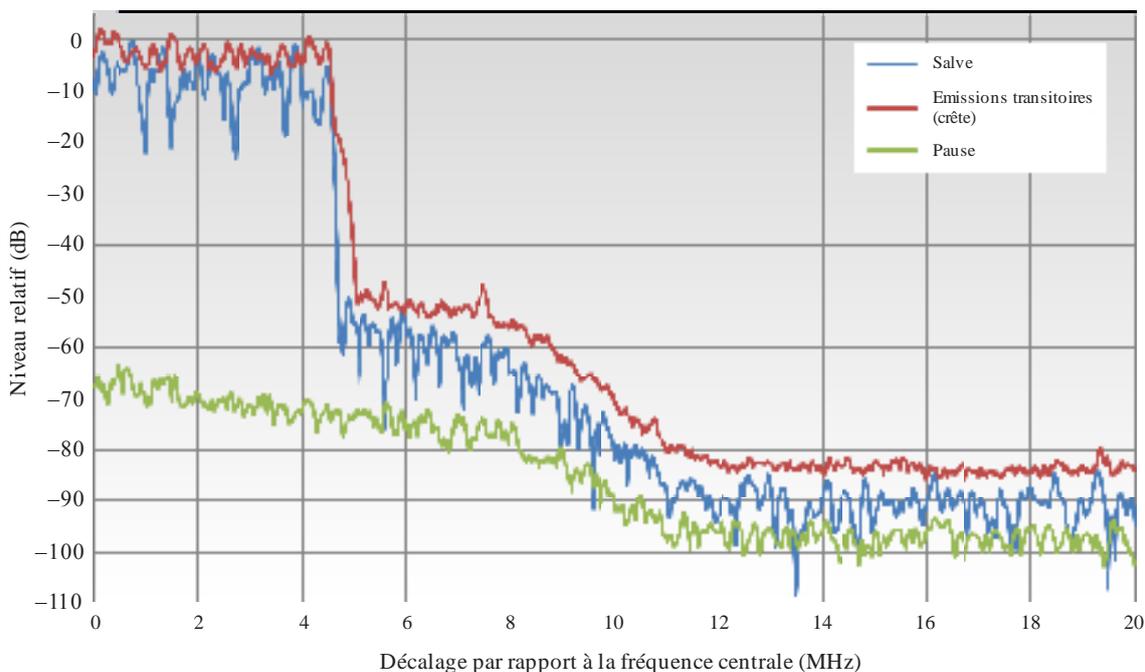
En conséquence, il existe trois formes différentes de rayonnements non désirés:

- le bruit de l'amplificateur large bande qui est présent en permanence;
- les émissions dans les bandes latérales en fonction de la modulation, présentes uniquement pendant les salves;
- les émissions transitoires, présentes uniquement lors des variations de puissance et des changements de symboles.

La Figure 28 montre les émissions hors bande enregistrées lors de l'émission d'une trame de 10 ms par une station de base LTE800 pendant toutes les phases susmentionnées.

FIGURE 28

Station de base LTE800: émissions hors bande produites à différents moments



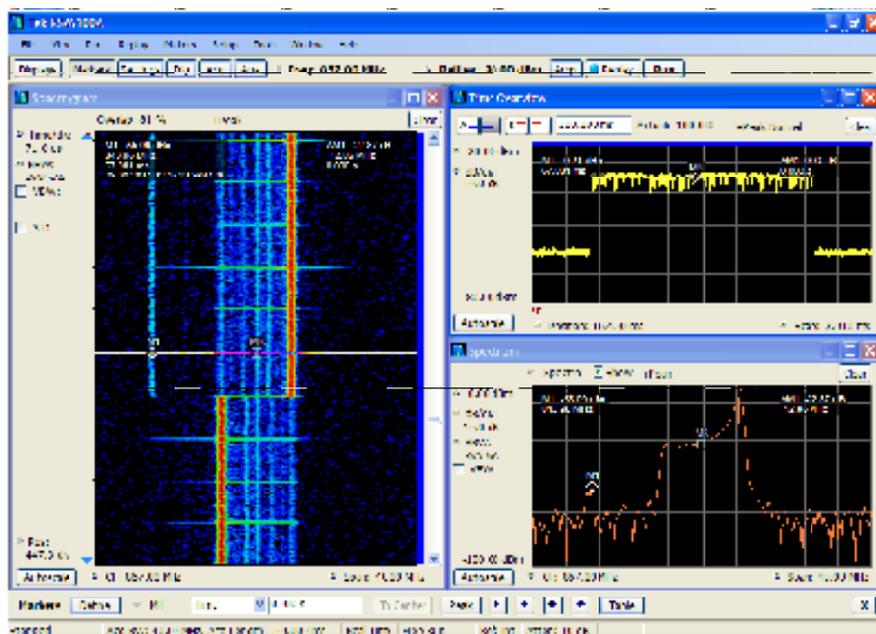
Rapport SM.2421-28

Cet exemple nous amène à nous demander si une limite suffit pour représenter de manière réaliste le potentiel de brouillage d'un système numérique à pulsation, en particulier dans le domaine des émissions hors bande.

La Figure 29 montre le fonctionnement d'un dispositif d'équipement d'utilisateur LTE800 avec une résolution temporelle élevée. Un seul bloc de ressources est attribué, la largeur de bande utilisée n'est donc que de 180 kHz. En revanche, toutes les 71 μ s, le symbole transmis et la modulation de toutes les sous-porteuses utilisées changent.

FIGURE 29

Spectre, puissance en fonction du moment et spectre temporaire au moment indiqué par une ligne (avec les points M1 et MR) dans le spectrogramme d'un équipement d'utilisateur LTE800 choisi de manière aléatoire, avec une résolution temporelle élevée



Rapport SM.2421-29

Observations concernant la Fig. 29:

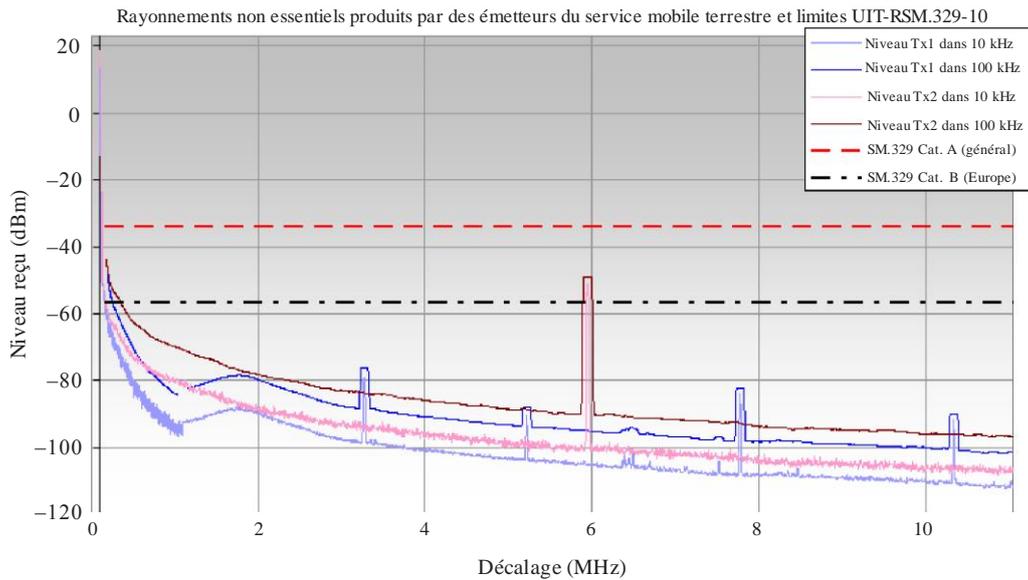
- Le niveau des émissions hors bande augmente de manière significative lors des changements de symboles (le cercle rouge indique un changement de symbole).
- Lorsque les émissions hors bande sont mesurées sous la forme de niveaux de crête, le spectre dans les bandes latérales ainsi obtenu ressemble à celui correspondant au changement de symbole. Toutefois, comme on le voit sur le spectrogramme, ces émissions correspondant au cas le plus défavorable ne se produisent que pendant un laps de temps très court («émissions transitoires») et peuvent avoir un potentiel de brouillage différent de celui qu'elles auraient si elles étaient présentes en permanence.

15 Rayonnements non désirés en bande étroite et en bande étendue

Tous les étages de sortie des amplificateurs d'émission produisent un certain volume de bruit que l'on peut voir sous la forme de rayonnements non désirés en bande étendue dans le domaine des émissions hors bande et dans le domaine des rayonnements non essentiels. En outre, les émetteurs analogiques produisent souvent des émissions en bande étroite sur des fréquences uniques distinctes dans le domaine des rayonnements non essentiels qui sont dus à la génération RF à l'intérieur de l'émetteur avec différents étages de mixage et différentes fréquences intermédiaires. Ces «crêtes» ont souvent des niveaux plus élevés que le bruit en bande étendue. La Figure 30 montre un exemple type de ce cas de figure avec deux émetteurs PMR différents:

FIGURE 30

**Rayonnements non essentiels produits par deux émetteurs PMR différents du service mobile terrestre
(gamme des fréquences supérieures)**



Ces crêtes peuvent être uniquement des porteuses uniques sans modulation. Leur niveau ne changera pas lorsque les mesures seront effectuées avec des largeurs de bande différentes. Par conséquent, les niveaux des rayonnements non désirés mesurés dans une petite largeur de bande ne peuvent pas être simplement convertis en une largeur de bande de références de 100 kHz. Dans la Fig. 30, il a fallu convertir les spectres des rayonnements non désirés mesurés dans une largeur de bande de 10 kHz (bleu clair et magenta clair) pour obtenir le spectre correspondant à la largeur de bande de référence de 100 kHz en appliquant une fenêtre d'intégration glissante (bleu foncé et marron).

On peut voir que cette conversion entraîne une augmentation des niveaux de bruit en bande étendue d'environ 10 dB, tandis que le niveau des crêtes reste quasiment le même.

Les émetteurs modernes des systèmes numériques génèrent toujours un signal radioélectrique numérique dans ce que l'on appelle la «bande de base». Après conversion du signal numérique en signal analogique (D/A), les deux composants en bande de base sont directement déplacés dans la gamme de fréquences radioélectriques moyennant une modulation en phase/en quadrature (I/Q). De ce fait, aucune crête distincte ne se produit dans le domaine des rayonnements non essentiels. Toutes les mesures figurant dans le présent document montrent que les rayonnements non essentiels sont, par leur nature même, uniquement en bande étendue, raisons principales expliquant pourquoi les niveaux des rayonnements non essentiels des systèmes numériques pour lesquels des mesures ont été effectuées sont souvent bien inférieurs aux limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 et dans la Recommandation ERC/REC 74-01 qui tenaient compte des crêtes des systèmes analogiques. L'un des avantages de ce comportement est que les rayonnements non essentiels des systèmes numériques peuvent généralement être convertis pour des largeurs de bande différentes grâce à une correction constante de $10 \cdot \log_{10}(BW1/BW2)$.