

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Rapport UIT-R SM.2212**

(06/2011)

**Incidence des systèmes de  
télécommunication à courants porteurs en  
ligne sur les systèmes de  
radiocommunication fonctionnant dans les  
bandes de fréquences métriques et  
décimétriques au-dessus de 80 MHz**

**Série SM**

**Gestion du spectre**



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

*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, 2011

© UIT 2011

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.2212

**Incidence des systèmes de télécommunication à courants porteurs en ligne sur  
les systèmes de radiocommunication fonctionnant dans les bandes de fréquences  
métriques et décimétriques au-dessus de 80 MHz**

(Question UIT-R 221-1/1)

(2011)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	4
2 Caractéristiques des rayonnements radiofréquences émis par les systèmes CPL dans les bandes de fréquences métriques et décimétriques .....	6
2.1 Brouillages causés par les modems CPL .....	6
2.2 Champ brouilleur CPL à polarisation horizontale .....	6
2.3 Champ brouilleur CPL à polarisation verticale .....	7
2.4 Brouillages des systèmes MF et DAB par les systèmes CPL.....	8
2.5 Conclusion .....	8
3 Caractéristiques des systèmes radioélectriques, critères de protection et incidence des systèmes CPL sur les systèmes de radiocommunication dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques .....	8
3.1 Radiodiffusion .....	8
3.1.1 Champ minimal utilisable pour les systèmes de radiodiffusion au regard des systèmes CPL fonctionnant au-dessus de 80 MHz.....	8
3.1.2 Densités maximales de champ brouilleur au niveau du système de réception de radiodiffusion .....	10
3.2 Service d'amateur et service d'amateur par satellite .....	12
3.2.1 Niveaux de bruit de fond dans la bande 144-148 MHz .....	13
3.2.2 Caractéristiques des stations d'amateur dans la bande 144-148 MHz .	13
3.2.3 Critères de protection applicables aux stations d'amateur dans la bande 220-225 MHz.....	13
3.2.4 Critères de protection applicables aux stations d'amateur dans la bande 420-450 MHz.....	13
3.2.5 Autres services fonctionnant dans l'environnement domestique avec des exigences comparables .....	14
3.3 Service mobile aéronautique.....	14
3.4 Systèmes mobiles maritimes.....	17

3.5	Service de radiorepérage.....	17
3.6	Service mobile terrestre .....	17
3.7	Radioastronomie .....	18
3.8	Service mobile par satellite.....	19
3.8.1	Bandes de fréquences.....	19
3.8.2	Critère de protection.....	19
3.8.3	Paramètres de système .....	19
3.8.4	Cas particulier de la bande 406-406,1 MHz.....	21
3.9	Service de radionavigation par satellite .....	22
3.9.1	Bandes de fréquences.....	22
3.9.2	Critère de protection.....	22
3.9.3	Paramètres de système .....	22
3.10	Autres systèmes/applications de radiocommunication .....	23
3.10.1	Systèmes de communication des implants médicaux hertziens.....	23
4	Possibilités de prévention et de suppression des brouillages .....	23
4.1	Mesures CEM adaptatives .....	23
4.2	Filtrage coupe-bande permanent.....	25
4.3	Filtrage coupe-bande dynamique.....	25
4.4	Filtrage coupe-bande en fonction de la géolocalisation .....	27
4.5	Commande de puissance à l'émission selon la Recommandation G.9960 .....	27
4.5.1	Construction d'un masque de DSP à l'émission .....	28
4.5.2	Notification d'un masque de DSP à l'émission .....	29
4.5.3	Valeur plafond de la DSP.....	29
4.5.4	Références .....	30
4.6	Conclusions relatives à la prévention et à la suppression des brouillages.....	30
5	Conclusions générales .....	30
Annexe 1 – Considérations touchant à l'émission et à la propagation de bruits dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques .....		31
A1	Analyse détaillée de la conversion de mode au niveau d'une dérivation .....	31
A1.1	Matrice de répartition en mode mixte d'une ligne de transmission équilibrée et chargée unilatéralement par un stub en série.....	31
A1.1.1	Considérations théoriques .....	31

	<i>Page</i>
A1.1.2 Résultats .....	34
A1.1.3 Conclusions .....	40
Annexe 2 – Analyses des risques de brouillages dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques.....	40
A2 Brouillages des systèmes radioélectriques fonctionnant dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques causés par les harmoniques des systèmes de télécommunication à courants porteurs en ligne fonctionnant dans les bandes d'ondes métriques entre 80 et 200 MHz .....	40
A2.1 Systèmes radioélectriques domestiques.....	40
A2.1.1 Conclusion .....	42
A2.2 Compatibilité entre le service radioaéronautique et les appareils CPL de type Indoor dans la gamme des fréquences 30 MHz-380 MHz .....	42
A2.2.1 Analyse de compatibilité concernant les brouillages causés au système radioaéronautique.....	42
A2.2.2 Calcul du seuil de brouillages des systèmes CPL découlant des critères applicables au service aéronautique .....	43
A2.2.3 Calcul de la puissance surfacique résultant des limites fixées par les normes applicables aux systèmes CPL .....	46
A2.2.4 Comparaison entre le seuil de brouillage applicable aux récepteurs aéroportés et le niveau de brouillage causé par les systèmes CPL .....	47
A2.2.5 Conclusions.....	49
A2.3 Modèle d'agrégation CPL applicable aux systèmes de radiocommunication et de radionavigation des aéronefs.....	49
Annexe 3 – Rayonnement radiofréquence provenant des systèmes CPL dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques .....	50
A3 Rayonnement radiofréquence provenant des systèmes CPL dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques .....	50
A3.1 Mesures réalisées par l'Institut für Rundfunktechnik GmbH sur des modems CPL.....	50
A3.1.1 Présentation générale des mesures.....	51
A3.1.2 Qualité de fonctionnement CPL.....	51
A3.1.3 Mesures du spectre de fréquences.....	52
A3.1.4 Rayonnements perturbateurs provenant du modem CPL de Belkin «power line gigabit» f5d4076 s v1.....	57
A3.1.5 Champ à polarisation horizontale .....	59
A3.1.6 Champ à polarisation verticale.....	60

	<i>Page</i>
A3.1.7 Brouillage réel de la réception MF et de la réception DAB.....	61
A3.1.8 Conclusions relatives aux mesures effectuées à l'IRT .....	62
A3.2 Mesures réalisées sur des modems CPL par le Centre de recherche sur les communications (Canada) .....	62
A3.2.1 Procédure adoptée par le CRC pour les mesures et résultats concernant les émissions transmises par conduction .....	62
A3.2.2 Conclusions relatives aux mesures effectuées au CRC .....	64
A3.3 Mesures réalisées sur un modem CPL «Gigabit» par CBS Broadcasting et National Public Radio.....	64
A3.3.1 Méthode de mesure .....	65
A3.3.2 Résultats des mesures des rayonnements par conduction produits par le modem CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin...	66
A3.3.3 Brouillages du récepteur MF causés par le modem CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin.....	68
A3.3.4 Conclusions relatives aux mesures effectuées par CBS/NPR.....	69
A3.4 Mesures de rayonnements de réseaux CPL réalisées par la BBC.....	70
A3.4.1 Introduction.....	70
A3.4.2 Mesures réalisées dans la cage de Faraday .....	70
A3.4.3 Mesures effectuées dans la maison A .....	73
A3.4.4 Mesures effectuées dans la maison B .....	75
A3.4.5 Conclusion .....	77

## 1 Introduction

Dans le cadre des études sur la compatibilité entre systèmes de radiocommunication et systèmes de télécommunication à débit binaire élevé utilisant des câbles électriques ou des câbles de distribution téléphonique (Question UIT-R 221/1), le présent Rapport examine comment les télécommunications à courants porteurs en ligne (CPL) fonctionnant dans les bandes de fréquences métriques et décimétriques influent sur l'utilisation du spectre radioélectrique et sur les besoins afférents de protection des services de radiocommunication. Il vient en complément du Rapport UIT-R SM.2158, qui fournit des informations et des orientations générales en ce qui concerne les fréquences comprises entre les bandes kilométriques et 80 MHz environ.

Les évolutions récentes en matière de technologie CPL montrent que les systèmes CPL peuvent utiliser des fréquences très supérieures à 80 MHz. Il se peut même que les progrès technologiques futurs permettent d'utiliser les CPL dans la bande des fréquences décimétriques.

Il existe actuellement deux grandes familles d'applications CPL:

- le CPL de type Access (c'est-à-dire destiné à fonctionner à l'extérieur de bâtiments), qui cible le marché du dernier mile (c'est-à-dire 1,2 km) entre la sous-station de distribution

d'énergie et l'abonné, et qui constitue un autre moyen d'accéder à la boucle locale de télécommunication;

- le CPL de type Indoor (c'est-à-dire destiné à fonctionner à l'intérieur de bâtiments), dont le rôle est de transporter des signaux (provenant par exemple d'un système CPL de type Access, d'un accès ADSL, voire de sources de données situées à l'intérieur et non connectées à un réseau d'accès) vers les prises de courant électrique qui se trouvent à l'intérieur de bâtiments.

Selon les informations disponibles, les fréquences supérieures à 80 MHz ne sont actuellement utilisées que par les systèmes CPL de type Indoor.

La Recommandation G.9960 (06/2010) de l'UIT-T intitulée «*Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification*» comporte une spécification de couche physique pour des systèmes CPL fonctionnant à des fréquences allant jusqu'à 100 MHz. Cette version correspond à la compilation de trois Recommandations de l'UIT-T adoptées précédemment: G.9960 Foundation (2009), ITU-T G.9960 Amendment 1 (2009) et ITU-T G.9960 Corrigendum 1 (2009). Le profil en bande de base du CPL fonctionnant à 100 MHz a été modifié de façon à réduire la limite fréquentielle supérieure de 100 MHz à 80 MHz. La poursuite de la coopération entre l'UIT-R et l'UIT-T devrait permettre de réexaminer cette limite en fréquence, qui a été fixée dans la Recommandation G.9960 de l'UIT-T.

Il convient de noter qu'il existe déjà, sur le marché, des systèmes CPL de type Indoor qui mettent en œuvre d'autres spécifications que celles de la Recommandation G.9960 de l'UIT-T et fonctionnent à des fréquences atteignant 300 MHz environ, voire plus.

Ces systèmes CPL de type Indoor permettent de transmettre des données à des vitesses atteignant plusieurs centaines de Mbit/s dans les câbles électriques que l'on trouve traditionnellement dans les bâtiments. La diffusion en continu de films HD et les jeux en ligne à domicile sont des exemples d'applications pouvant nécessiter de telles vitesses de transmission. A noter que la mise en œuvre de ces systèmes CPL et leurs caractéristiques techniques peuvent varier considérablement.

Les câbles électriques n'étant pas conçus pour la transmission de signaux à débit binaire élevé, les signaux CPL sont susceptibles de brouiller des services de radiocommunication.

Le numéro 15.12 du Règlement des radiocommunications (RR) dispose que «Les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiques nécessaires pour que le fonctionnement des appareils et installations électriques de toute espèce, y compris les réseaux de distribution d'énergie ou de télécommunication, mais à l'exception des appareils destinés aux utilisations industrielles, scientifiques et médicales, ne puisse pas causer de brouillage préjudiciable à un service de radiocommunication, et en particulier aux services de radionavigation et autres services de sécurité, exploité conformément au présent Règlement<sup>1</sup>.»

Le chapitre 3 du présent Rapport de l'UIT-R indique les caractéristiques radioélectriques et les critères de protection d'un grand nombre de systèmes de radiocommunication fonctionnant entre 80 et 470 MHz susceptibles d'être brouillés. Il est prévu d'étoffer progressivement le présent Rapport de façon à couvrir *in fine* tous les systèmes de radiocommunication concernés fonctionnant dans cette gamme de fréquences. Selon l'évolution de la technologie CPL, il sera peut-être nécessaire d'examiner également l'incidence éventuelle des systèmes CPL sur les systèmes de radiocommunication fonctionnant à des fréquences supérieures à 470 MHz.

---

<sup>1</sup> 15.12.1 et 15.13.1 A cet égard, les administrations doivent se fonder sur les Recommandations pertinentes de l'UIT-R les plus récentes.»

## 2 Caractéristiques des rayonnements radiofréquences émis par les systèmes CPL dans les bandes de fréquences métriques et décimétriques

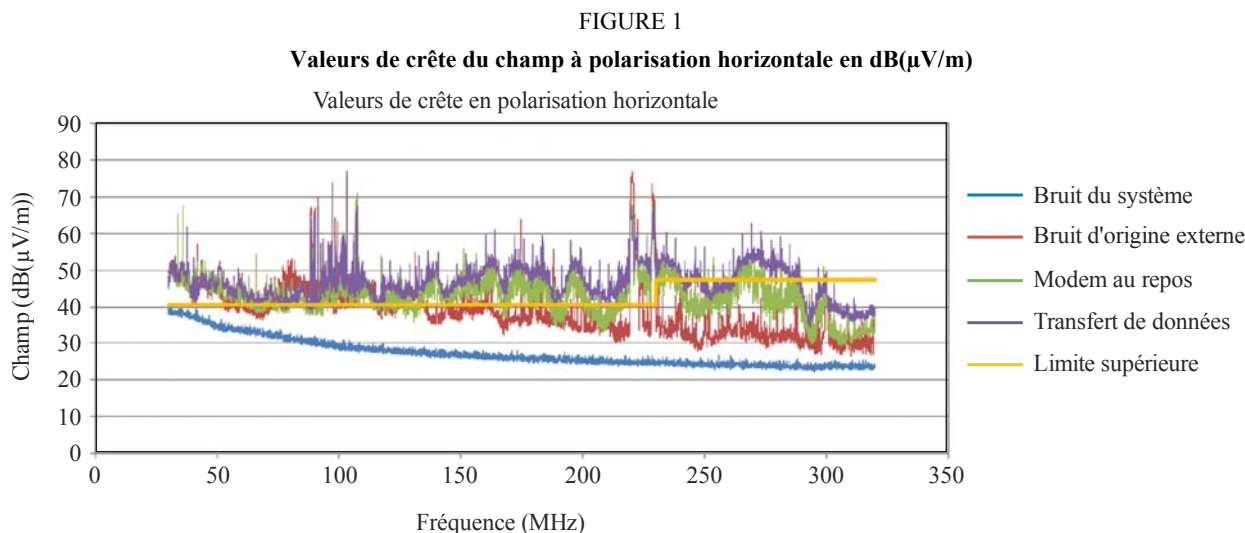
### 2.1 Brouillages causés par les modems CPL

L'exemple présenté ci-après illustre les brouillages causés par une ligne électrique utilisée pour connecter deux modems CPL à haut débit échangeant des données à des vitesses inférieures à 250 Mbit/s. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une antenne de référence située à 3 m de la ligne électrique. Les valeurs maximales de champ suivantes ont été mesurées et enregistrées dans la gamme de fréquences 30-320 MHz en polarisation horizontale et en polarisation verticale:

- bruit du système de réception utilisé pour les mesures (référence inférieure du système de mesure);
- bruit d'origine externe;
- valeurs du champ brouilleur lorsque les modems sont en mode repos;
- valeurs du champ brouilleur lorsque les modems échangent des données avec un débit binaire inférieur à 250 Mbit/s.

L'Annexe 3 donne des informations détaillées sur la procédure d'essai. Les limites indiquées au Tableau 6 de la norme EN 55022 (avril 2007)<sup>2</sup> sont prises comme valeurs supérieures de référence; elles sont reportées dans les figures suivantes. Les limites indiquées sont des valeurs de quasi-crête, qui, en règle générale, sont jusqu'à 4 dB inférieures aux valeurs de crête (voir le Rapport UIT-R SM.2158).

### 2.2 Champ brouilleur CPL à polarisation horizontale



Rapport SM.2212-01

Le tracé bleu de la Fig. 1 correspond à la plus petite valeur de champ mesurable, c'est-à-dire au bruit du système de réception utilisé pour les mesures. Le tracé rouge représente l'évolution du bruit d'origine externe (bruit artificiel) en l'absence des modems. Etant donné que les mesures ont été réalisées au niveau du terminal recevant les informations, c'est-à-dire dans un environnement où

<sup>2</sup> CENELEC EN 55022:2006; Appareils de traitement de l'information – Caractéristiques des perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure (CISPR 22: 2005 (modifié)).



fonctionnent de nombreux systèmes électriques et électroniques, le bruit d'origine externe est relativement élevé (tracé rouge); aux fréquences inférieures à 150 MHz, il est même au-dessus du tracé correspondant à la limite supérieure. Les pics de valeurs de champ observables entre 87,5 et 108 MHz correspondent aux signaux MF et ceux situés dans la bande 220-229 MHz aux signaux DAB qui peuvent être captés à l'emplacement choisi pour le récepteur.

Comme le montre le tracé vert, le bruit augmente lorsque les modems sont mis sous tension. Il augmente encore pendant le transfert des données, comme le montre le tracé violet. Au-dessus de 130 MHz, le niveau du champ brouilleur causé par les modems est de quelques dB supérieur au bruit d'origine externe, ce qui signifie que les valeurs mesurées sont correctes. Les valeurs de crête des brouillages causés par le modem pendant le transfert des données et en mode repos dépassent les valeurs limites de la CISPR de 20 dB maximum environ. Les limites applicables de la CISPR figurent au Tableau 1.

TABLEAU 1

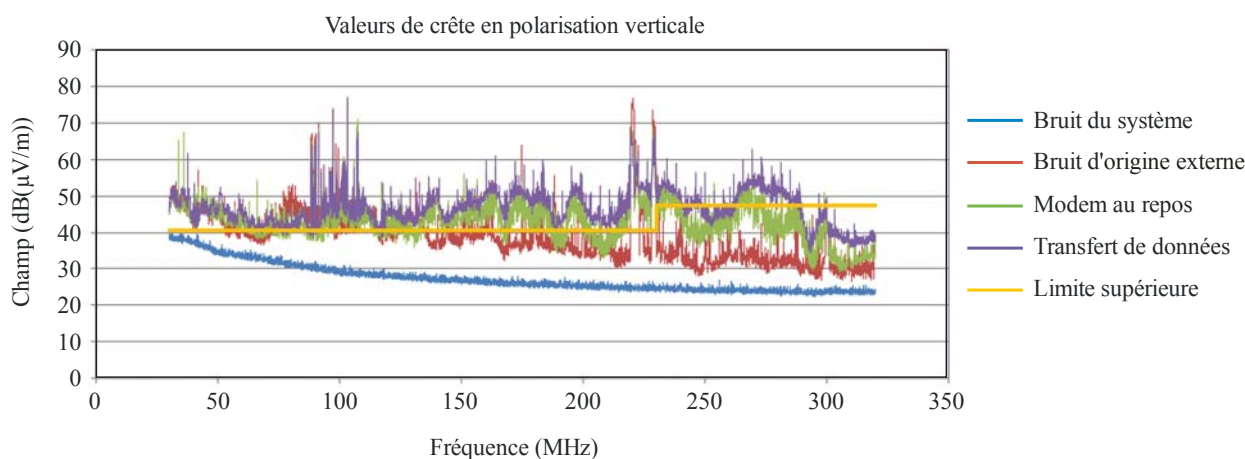
**Edition 6 de la CISPR 22, limites d'émission applicables aux appareils de traitement de l'information (largeur de bande de 120 kHz)**

Gamme de fréquences	Emissions par rayonnement (quasi-crête, antenne placée à 10 m)	
	Classe A (non destiné à un usage domestique)	Classe B (destiné à un usage domestique)
30-230 MHz	40 dB( $\mu$ V/m)	30 dB( $\mu$ V/m)
230-1 000 MHz	47 dB( $\mu$ V/m)	37 dB( $\mu$ V/m)

### 2.3 Champ brouilleur CPL à polarisation verticale

FIGURE 2

**Valeurs de crête du champ à polarisation verticale en dB( $\mu$ V/m)**



Les remarques concernant la Fig. 1 s'appliquent aussi aux valeurs de champ de la Fig. 2. Les pics des signaux DAB à 220 MHz et 229 MHz sont plus élevés, car ces signaux sont émis en polarisation verticale. Pendant le transfert des données ainsi qu'en mode repos, les valeurs de crête du champ brouilleur causé par le modem dépassent les valeurs limites sur la totalité de la gamme de fréquences.

## **2.4 Brouillages des systèmes MF et DAB par les systèmes CPL**

Les équipes du département recherche et développement de la BBC ont réalisé des mesures spectrales des rayonnements provenant de modems CPL à haut débit et les ont comparés à des signaux utiles MF en bande II et DAB en bande III. Ces mesures ont été réalisées dans deux habitations représentatives. En outre, la preuve de la procédure a été établie et des essais d'étalonnage ont été effectués en laboratoire. Les résultats présentés à l'Annexe 3 montrent que les rayonnements CPL sont comparables aux valeurs de champ utile en réception utilisées dans les méthodes de planification en vigueur. De fait, le système CPL porte le bruit de fond à un niveau tel qu'une zone de bonne réception devient, en présence de CPL, une zone de couverture limitée. Le rapport signal/bruit se rapproche du seuil plancher acceptable; la qualité audio se dégrade rapidement, une légère variation de certains paramètres tels que l'emplacement du récepteur ou les conditions de propagation troposphérique rendant l'écoute au mieux perturbée et au pire impossible.

## **2.5 Conclusion**

Les mesures spectrales réalisées sur des modems CPL à haut débit montrent que des brouillages apparaissent à des fréquences allant jusqu'à 305 MHz, ce qui englobe la bande MF et la bande DAB. Elles montrent également que les brouillages dus aux modems dépassent les limites autorisées par la norme EN 55022 dans la gamme 30-300 MHz. On peut s'attendre à ce que l'augmentation de la vitesse de transmission des modems à haut débit entraînera également une augmentation des brouillages aux fréquences supérieures à 300 MHz.

# **3 Caractéristiques des systèmes radioélectriques, critères de protection et incidence des systèmes CPL sur les systèmes de radiocommunication dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques**

## **3.1 Radiodiffusion**

### **3.1.1 Champ minimal utilisable pour les systèmes de radiodiffusion au regard des systèmes CPL fonctionnant au-dessus de 80 MHz**

Cette section donne des informations de base sur le champ minimal utilisable pour les systèmes de radiodiffusion dans la gamme des fréquences comprises entre 80 MHz et 1 GHz environ. Diverses Recommandations et plusieurs Rapports de l'UIT-R fournissent des spécifications et des informations qui permettent de définir les critères de protection requis pour une réception de radiodiffusion fiable. Les chiffres indiqués ci-après, tirés des Recommandations pertinentes, donnent un bref aperçu des valeurs applicables aux différents systèmes de radiodiffusion fonctionnant au-dessus de 80 MHz.

Dans l'Article 5 du RR, les bandes de fréquences suivantes sont attribuées à la radiodiffusion au-dessus de 80 MHz dans la Région 1:

TABLEAU 2

**Bandes de fréquences applicables à la radiodiffusion**

Bande	Fréquences
VHF (ondes métriques)	87,5-100 MHz 100-108 MHz
	174-223 MHz 223-230 MHz
UHF (ondes décimétriques)	470-790 MHz 790-862 MHz

**Recommandation UIT-R BS.412-9 – Normes de planification pour la radiodiffusion sonore par voie hertzienne de Terre à modulation de fréquence en ondes métriques**

En présence de brouillages causés par des installations industrielles et domestiques (pour les limites de rayonnement de ces installations, se reporter à la Recommandation UIT-R SM.433\*, qui précise les recommandations correspondantes de la CISPR), pour que le service sonore à modulation de fréquence soit satisfaisant, le champ médian (mesuré à 10 m au-dessus du sol) ne doit pas être inférieur aux valeurs indiquées au Tableau 3:

TABLEAU 3

**Champ médian à modulation de fréquence  
mesuré avec une hauteur d'antenne de 10 m  
(Source: Rec. UIT-R BS.412-9, Tableau 1)**

Zones	Services	
	Monophonique dB( $\mu$ V/m)	Stéréophonique dB( $\mu$ V/m)
Rurales	48	54
Urbaines	60	66
Grandes villes	70	74

Bien que le service ne soit prévu que pour des hauteurs d'antenne de 10 m, la radiodiffusion sonore à modulation de fréquence est souvent reçue à l'aide d'appareils portables ou mobiles avec une hauteur d'antenne de 1,5 m environ. Les récepteurs portables équipés d'une antenne intégrée étant en principe aussi sensibles que le récepteur pris pour hypothèse pour la planification, les mêmes valeurs de champ sont utilisées.

**Recommandation UIT-R BS.1660-3 – Bases techniques de la planification de la radiodiffusion sonore numérique de Terre dans la bande des ondes métriques**

Cette Recommandation est la référence technique utilisée pour la planification du Système A (T-DAB) de radiodiffusion numérique sonore de Terre dans la bande III en ondes métriques. Les valeurs indiquées au Tableau 4 comprennent une correction de 13 dB et une correction du gain de 10 dB, qui prennent en compte respectivement le pourcentage d'emplacements et la hauteur d'antenne. Le champ minimal médian équivalent indiqué ci-dessous représente le champ utile

\* *Note du Secrétariat* – La Recommandation UIT-R SM.433 a été supprimée le 06/06/2003 (AR-03).

minimal utilisé pour la planification. Les valeurs figurant au Tableau 4 sont appliquées à la réception des équipements mobiles.

TABLEAU 4

**Champ minimal médian équivalent d'un système T-DAB (dB( $\mu$ V/m))  
pour une hauteur d'antenne égale à 10 m  
(Source: Rec. UIT-R BS.1660-3, Tableau 1)**

Bande de fréquences	Bande III
Champ minimal équivalent (dB( $\mu$ V/m))	35
Facteur de correction lié au pourcentage d'emplacements (50% à 99%) (dB)	+13
Correction du gain liée à la hauteur d'antenne (dB)	+10
Champ minimal médian équivalent utilisé pour la planification (dB( $\mu$ V/m))	58

Dans le cas d'une réception à l'aide d'un appareil portable équipé d'une antenne d'intérieur, on peut utiliser pour le champ minimal équivalent la valeur de 35 dB( $\mu$ V/m).

**Recommandation UIT-R BT.1368-8 – Critères de planification des services de télévision numérique de Terre dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques**

Les chiffres indiqués au Tableau 5 sont calculés pour le canal de Rice.

TABLEAU 5

**Champ minimal pour un système de télévision numérique de Terre DVB-T à 8 MHz  
(Source: Rec. UIT-R BT.1368- 8, Tableau 44)**

Fréquence (MHz)	200			550			700		
	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3
Variante du système Intervalle de garde 1/4									
Champ minimal pour réception fixe, $E_{min}$ (dB( $\mu$ V/m))	27	33	39	33	39	45	35	41	47

Dans le cas d'une réception à l'aide d'un appareil portable équipé d'une antenne d'intérieur, on peut utiliser pour le champ minimal équivalent les valeurs du Tableau 5.

**3.1.2 Densités maximales de champ brouilleur au niveau du système de réception de radiodiffusion**

Si l'on utilise une antenne externe, le bruit du récepteur est essentiellement dû au bruit extérieur. C'est aussi le cas dans les quartiers d'affaires et les quartiers résidentiels si l'on utilise une antenne intégrée. On notera toutefois que, même en zone rurale, le bruit extérieur est important. En ce qui concerne le niveau minimal du bruit extérieur, il est déterminé par le bruit artificiel, car celui-ci est prédominant lorsque le bruit atmosphérique diminue. De ce fait, le critère de protection applicable au champ est également déterminé par le bruit artificiel.

En ce qui concerne les émissions non intentionnelles dans les bandes de radiodiffusion au-dessus de 80 MHz, il est *recommandé*, dans la Recommandation UIT-R BS/BT.1895:

«1 que les valeurs indiquées aux points 2 et 3 du *recommande* servent de limites indicatives, au-dessus desquelles il conviendrait d'entreprendre des études de compatibilité concernant les effets, sur le service de radiodiffusion considéré, des rayonnements et des émissions d'autres applications et services;

2 que le brouillage total causé, au niveau d'un récepteur, par l'ensemble des rayonnements et des émissions pour lesquels il n'existe pas d'attribution de fréquence correspondante dans le Règlement des radiocommunications n'excède pas 1% de la puissance de bruit du système de réception considéré<sup>3</sup>;

3 que le brouillage total causé au niveau d'un récepteur par l'ensemble des sources des émissions de fréquences radioélectriques des services de radiocommunication pour lesquels il existe une attribution à titre coprimaire correspondante ne devrait pas excéder 10% de la puissance de bruit totale du système de réception considéré.»

Pour que la dégradation de la sensibilité du récepteur reste dans la limite de 1% ou 0,05 dB, le critère de protection du service de radiodiffusion doit être de 20 dB inférieur à  $E_n$ , où  $E_n$  représente le champ équivalent du bruit artificiel dans une largeur de bande  $b$ . Le critère de protection peut s'exprimer en termes de densité de champ maximale (en dB( $\mu$ V/m/MHz)), avec  $b = 1$  MHz, selon l'équation suivante:

$$\text{Densité de champ maximale} = g + h \log f \quad \text{dB}(\mu\text{V/m/MHz}) \quad (1)$$

où:

$$g = c - 55,5$$

$$h = 20 - d.$$

Pour les constantes  $c$  et  $d$  tirées du Tableau 1 de la Recommandation UIT-R P.372,  $g$  et  $h$  prennent les valeurs indiquées ci-dessous au Tableau 6.

TABLEAU 6

**Valeurs des constantes  $g$  et  $h$**

Catégorie d'environnement	$g$	$h$
Quartier d'affaires	21,3	-7,7
Quartier résidentiel	17,0	-7,7
Zone rurale	11,7	-7,7
Zone rurale calme	-1,9	-8,6

Le Tableau 7 récapitule les critères de protection applicables au service de radiodiffusion de Terre en termes de densité de champ maximale au niveau de l'antenne de réception. Etant donné que le bruit de fond du récepteur dépasse le bruit extérieur caractéristique des zones rurales calmes au-dessus de 30 MHz, les valeurs correspondant à ce type d'environnement et cette gamme de fréquences sont calculées à partir de l'équation (3-4) du Rapport UIT-R SM.2158 et d'un critère de protection de -20 dB. La même procédure de calcul est appliquée aux fréquences supérieures à 470 MHz, pour lesquelles le bruit de fond du récepteur dépasse également le bruit extérieur.

<sup>3</sup> Exception faite des rayonnements provenant des dispositifs CPL au-dessous de 30 MHz.

TABLEAU 7

**Densités maximales de champ brouilleur au niveau du système de réception de radiodiffusion**

Bande de fréquences de radiodiffusion <sup>(1)</sup>	Densité maximale de champ brouilleur en dB( $\mu$ V/m/MHz) <sup>(2)</sup>			
	Quartier d'affaires	Quartier résidentiel	Zone rurale	Zone rurale calme
47-72 MHz	8,4	4,1	-1,2	-22,1
76-88 MHz	6,8	2,5	-2,8	-17,9
88-108 MHz	6,3	2,0	-3,3	-16,6
174-230 MHz	4,0	-0,3	-5,6	-10,7
470-960 MHz	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
1 452-1 492 MHz	7,7	7,7	7,7	7,7

(1) Les bandes de fréquences de radiodiffusion ne tiennent pas compte des variations régionales figurant à l'Article 5 du Règlement des radiocommunications.

(2) Valeurs calculées à partir de la Recommandation UIT-R P.372, des Recommandations UIT-R BS/BT.1895, exception faite des zones rurales calmes pour les fréquences supérieures à 30 MHz et de toutes les catégories d'environnement pour les fréquences supérieures à 470 MHz pour lesquelles les valeurs sont calculées à partir du bruit de fond interne du récepteur, et des Recommandations UIT-R BS/BT.1895.

### 3.2 Service d'amateur et service d'amateur par satellite

Les bandes de fréquences du service d'amateur dans la gamme 80-450 MHz sont: 144-148 MHz (144-146 MHz dans la Région 1 de l'UIT), 220-225 MHz dans la Région 2, et certaines parties de la bande 420-450 MHz dans toutes les régions. Outre le fait que ces bandes sont très utilisées en modulation de fréquence analogique et dans d'autres modes apparentés avec une couverture relativement limitée – et ce, grâce à un réseau dense de répéteurs dans la plupart des pays –, elles ont aussi une portée mondiale, car elles prennent en charge des communications à longue distance à des rapports signal/bruit très faibles (voire négatifs). Ce sont avant tout ces applications, caractérisées par un signal faible, qui ont besoin d'être protégées contre les brouillages, même si les autres formes de communication tireront également partie de la protection mise en place.

Le service d'amateur par signal faible en ondes métriques utilise systématiquement des modes transitoires de propagation, notamment la diffusion troposphérique, le phénomène de conduits dans la troposphère et, dans le cas de la bande 144-220 MHz, la propagation transéquatoriale, ainsi que les réflexions de l'aurore, des traînées météoriques et de la lune. Ces modes de propagations, jugés «non fiables», ne sont pas utilisés pour les autres services et intéressent assez peu les professionnels. A l'inverse, les amateurs les utilisent pour communiquer sur des distances supérieures à 1 000 km. De leur côté, les communications par réflexion sur la Lune couvrent les trois Régions de l'UIT. Ce type de communication repose sur la modulation BLU ou le codage Morse de façon comparable à la communication en ondes décamétriques, à ceci près qu'il utilise plus systématiquement les signaux extrêmement faibles et sujets à évanouissements, souvent à des rapports signal/bruit voisins de 0 dB, et qu'il met en œuvre des protocoles spécialement conçus pour capter les informations transmises pendant les courtes périodes d'amélioration du signal. Grâce aux modes de transmission numérique modernes, il est aujourd'hui possible de communiquer à des niveaux de 10 à 20 dB inférieurs au seuil audible.

Du fait de ces caractéristiques très particulières, la communication d'amateur par signal faible en ondes décamétriques est extrêmement sensible à toute augmentation du bruit de fond. Le degré de protection requis est comparable à celui de la radioastronomie. A noter cependant que contrairement aux observatoires de radioastronomie, les stations d'amateur sont rarement situées dans des régions reculées.

### 3.2.1 Niveaux de bruit de fond dans la bande 144-148 MHz

Selon la Recommandation UIT-R P.372-10, dans les zones «rurales calmes», le bruit de fond à ces fréquences est déterminé par le bruit du ciel, en particulier le bruit provenant du Soleil, qui apparaît comme une source quasi ponctuelle, et par le bruit de notre propre galaxie (la Voie lactée), qui apparaît comme une large ceinture à fort rayonnement. D'après la Recommandation UIT-R P.372, le facteur médian du bruit galactique varie entre 0 dB environ par rapport à  $kTb$  à 144 MHz et -9 dB à 432 MHz. D'après l'équation (2) figurant dans cette Recommandation, ces niveaux correspondent à des champs de -23,4, -27,4 et -32,4 dB( $\mu$ V/m) pour les bandes 144, 225 et 432 MHz respectivement.

### 3.2.2 Caractéristiques des stations d'amateur dans la bande 144-148 MHz

D'après la Recommandation UIT-R P.372, le bruit de fond, exprimé en champ, est égal à -23,4 dB( $\mu$ V/m).

Pour que ce bruit de fond ne soit pas dégradé de plus de 0,5 dB, il faut que le champ du bruit provenant des systèmes CPL ne dépasse pas -34 dB( $\mu$ V/m).

En supposant que l'antenne est située à l'extérieur du bâtiment, qu'elle a un gain équivalent de 2 dBi dans la direction du système CPL (gain d'un lobe latéral) et qu'elle est placée à 10 m de celui-ci, moyennant des pertes de 16 dB par les murs et une largeur de bande de référence égale à 120 kHz, l'intensité du champ de la fondamentale ou des harmoniques du système CPL ne devrait pas dépasser 6 dB( $\mu$ V/m) dans une largeur de 120 kHz à 3 m.

### 3.2.3 Critères de protection applicables aux stations d'amateur dans la bande 220-225 MHz

D'après la Recommandation UIT-R P.372, le bruit de fond, exprimé en champ, est égal à -27,4 dB( $\mu$ V/m).

Pour que ce bruit de fond ne soit pas dégradé de plus de 0,5 dB, il faut que le champ du bruit provenant des systèmes CPL ne dépasse pas -38 dB( $\mu$ V/m).

En supposant que l'antenne est située à l'extérieur du bâtiment, qu'elle a un gain équivalent de 2 dBi dans la direction du système CPL (gain d'un lobe latéral) et qu'elle est placée à 10 m de celui-ci, moyennant des pertes de 20 dB par les murs et une largeur de bande de référence égale à 120 kHz, l'intensité du champ de la fondamentale ou des harmoniques du système CPL ne devrait pas dépasser 6 dB( $\mu$ V/m) dans une largeur de 120 kHz à 3 m.

### 3.2.4 Critères de protection applicables aux stations d'amateur dans la bande 420-450 MHz

D'après la Recommandation UIT-R P.372, le bruit de fond, exprimé en champ, est égal à -32,4 dB( $\mu$ V/m).

Pour que ce bruit de fond ne soit pas dégradé de plus de 0,5 dB, il faut que le champ du bruit provenant des systèmes CPL ne dépasse pas -43 dB( $\mu$ V/m).

En supposant que l'antenne est située à l'extérieur du bâtiment, qu'elle a un gain efficace de 1 dBi dans la direction du système CPL (gain d'un lobe latéral) et qu'elle est placée à 10 m de celui-ci, moyennant des pertes de 24 dB par les murs et une largeur de bande de référence égale à 120 kHz, l'intensité du champ de la fondamentale ou des harmoniques du système CPL ne devrait pas dépasser 6 dB( $\mu$ V/m) dans une largeur de 120 kHz à 3 m.

### 3.2.5 Autres services fonctionnant dans l'environnement domestique avec des exigences comparables

Avec le vieillissement de la population, le besoin d'utiliser la communication par ondes radioélectriques dans les systèmes de surveillance médicale à domicile est de plus en plus pressant. La Recommandation UIT-R RS.1346 recommande d'utiliser, pour les systèmes de communication des implants médicaux (MICS, *medical implant communication systems*), la bande 401-406 MHz à titre secondaire, sous réserve de ne pas causer de brouillage ni demander de protection. Les normes qui régissent cette application préconisent l'utilisation d'un seuil de détection de type «écouter avant de parler» (LBT, *listen before talk*), calculé selon la formule  $(-150 \text{ dBm} + 10 \log B + G)$ , où  $B$  correspond à la largeur de bande du système et  $G$  au gain de l'antenne par rapport au gain isotrope. En règle générale, on estime qu'un rapport signal/bruit de 11 dB fournit un niveau de détection de signal acceptable avec un bon degré de fiabilité. Pour une largeur de bande de 120 kHz, le seuil LBT des systèmes MICS égale 16,6 dB( $\mu$ V/m) et la valeur de champ du bruit ne peut dépasser 5,5 dB( $\mu$ V/m) environ, la mesure étant effectuée au niveau du programmeur MICS (équipement qui établit la liaison de communication) pour une dégradation de 3 dB du rapport signal/bruit. Si le bruit du système CPL est supérieur à 10 dB( $\mu$ V/m), le seuil LBT est dépassé: avec un tel rapport signal/bruit, le signal envoyé par l'implant est difficilement détectable et le programmeur ne peut y répondre. On voit donc que les niveaux de protection requis pour le service d'amateur ne sont pas si éloignés de ceux nécessaires au fonctionnement d'autres services importants traditionnellement utilisés dans l'environnement domestique.

D'autres dispositifs de radiocommunication à courte portée (SRD, *short-range device*) sont utilisés à domicile. Citons les alarmes anti-intrusion et anti-incendie, et les alarmes personnelles. La norme EN300-220, largement utilisée dans le monde entier, impose dans la pratique un niveau de bruit de l'ordre de 9 dB( $\mu$ V/m) à 400 MHz, mesuré à 3 m dans une largeur de 120 kHz. Ces niveaux s'appliquent également aux harmoniques et aux produits d'intermodulation dus au fonctionnement des systèmes CPL à des fréquences inférieures.

Il convient de noter que ces niveaux s'appliquent équitablement aux harmoniques et aux produits d'intermodulation dus au fonctionnement des dispositifs CPL à des fréquences inférieures.

On voit donc que les critères des services d'amateur ne sont pas si éloignés de ceux d'autres dispositifs utilisés dans l'environnement domestique.

### 3.3 Service mobile aéronautique

Compte tenu du fait que le trajet radioélectrique est en visibilité directe, les services mobiles aéronautiques sont particulièrement sensibles aux brouillages cumulatifs provenant de fortes densités de sources de rayonnement en radiofréquence situées au sol. Ce problème est aggravé lorsque ces sources sont situées au-dessous des couloirs d'approche et de départ des aéroports.



TABLEAU 8

**Valeur acceptable maximale initiale des brouillages applicable aux systèmes utilisés dans les services aéronautiques**  
**Niveau de signal à protéger à l'emplacement de l'antenne de réception**

Système		Bande de fréquences	Emplacement du récepteur	Niveau minimal du signal utile		Rapport signal utile/signal brouilleur nécessaire (Note 1)	Largeur de bande du récepteur	Marge pour la sécurité aérienne	Limite imposée par l'emploi de techniques multiples	Valeur acceptable maximale initiale des brouillages
				( $\mu\text{V/m}$ )	(dBm)					
Communications en ondes métriques	25 kHz	117,975-137 MHz	Aéroporté	75	-82	20	16	6	20	-170
		117,975-137 MHz	Au sol	20	-93	20	16	6	20	-181
	8,33 kHz	117,975-137 MHz	Aéroporté	75	-82	20	5,6	6	20	-165
		117,975-137 MHz	Au sol	20	-93	20	5,6	6	20	-177
	VDL Mode 2 et 3	117,975-137 MHz	Aéroporté	75	-82	20	8	6	20	-167
		117,975-137 MHz	Au sol	20	-93	20	16	6	20	-181
	VDL Mode 4	108-137 MHz	Aéroporté	75	-81	20	5,56	6	20	-165
		108-137 MHz	Au sol	20	-93	20	6	6	20	-177

NOTE 1 – Les valeurs indiquées dans ce tableau correspondent au rapport signal utile/signal brouilleur intrasystème ou, dans le cas du radar, au rapport brouillage/bruit du système. Elles correspondent à des valeurs initiales.

L'Annexe A2.2 présente une étude portant sur la compatibilité entre les systèmes CPL et les services mobile aéronautique et de radionavigation aéronautique, dans la gamme des fréquences comprises entre 30 et 380 MHz.

TABLEAU 9

**Valeur acceptable maximale initiale des brouillages applicable aux systèmes  
utilisés dans les services de radiorepérage aéroportés  
Niveau de signal à protéger à l'emplacement de l'antenne de réception**

Système	Bande de fréquences	Emplacement du récepteur	Niveau minimal du signal utile		Rapport signal utile/signal brouilleur nécessaire (Note 1)	Largeur de bande du récepteur (kHz)	Marge pour la sécurité aérienne (dB)	Limite imposée par l'emploi de techniques multiples (dB)	Valeur acceptable maximale initiale des brouillages (dBm/Hz)
			( $\mu$ V/m)	(dBm)	(dB)				
Radiophare d'alignement de piste ILS	108-112 MHz	Aéroporté	40	-86	20	30	6	20	-177
Radiophare d'alignement de descente ILS	328,6-335,4 MHz	Aéroporté	400	-76	20	42	6	20	-168
GBAS	108-117,975 MHz	Aéroporté	215	-72	26	14	6	20	-165
VOR	108-117,975 MHz	Aéroporté	90	-79	20	36	6	20	-171
Radionavigation aéronautique	200-225 MHz								
Radiolocalisation	216-220 MHz								
Radionavigation aéronautique	420-460 MHz								
Radiolocalisation	430-450 MHz								

NOTE 1 – Les valeurs indiquées dans ce tableau correspondent au rapport signal utile/signal brouilleur intrasystème ou, dans le cas du radar, au rapport brouillage/bruit du système. Elles correspondent à des valeurs initiales.

### 3.4 Systèmes mobiles maritimes

#### Récepteurs maritimes en ondes métriques – 154-174 MHz

La Recommandation UIT-R M.489-2 dispose que:

- la sensibilité de référence doit être égale ou inférieure à 2,0  $\mu\text{V}$  (f.é.m.) pour un rapport signal/bruit de référence donné à la sortie du récepteur;
- la sélectivité des voies adjacentes doit être d'au moins 70 dB;
- l'affaiblissement de la réponse parasite doit être d'au moins 70 dB;
- l'affaiblissement des produits d'intermodulation aux fréquences radioélectriques doit être d'au moins 65 dB;
- la puissance d'un rayonnement non essentiel, mesurée aux bornes de l'antenne, ne doit pas dépasser 2,0 nW pour toute fréquence discrète. Dans certains environnements radioélectriques, des valeurs plus basses peuvent être nécessaires.

#### Récepteurs des systèmes d'identification automatique (AIS, *automatic identification of ships*) des navires

Les récepteurs AIS fonctionnent sur deux fréquences, 161,975 et 162,025 MHz, pour répondre à des besoins de sécurité et de sûreté maritimes très variés qui ont été définis par l'OMI. Citons notamment la gestion du mouvement des navires le long des couloirs de navigation encombrés, la prévention des collisions, l'amélioration de la réponse des radars à synthèse d'ouverture (RSO) en cas de détresse, la protection contre la pollution aux hydrocarbures et le maintien d'un environnement sûr pour l'exploitation des navires et des ports.

- Niveau minimum spécifié de sensibilité des récepteurs AIS (pour un taux d'erreur admissible de 20%) =  $-107$  dBm;
- en règle générale, les stations de base AIS ont une sensibilité en réception d'au moins  $-115$  dBm.

### 3.5 Service de radiorepérage

Compte tenu du fait que le trajet radioélectrique est en visibilité directe, les services de radiorepérage aéroportés sont particulièrement sensibles aux brouillages cumulatifs provenant de fortes densités de sources de rayonnement en radiofréquence situées au sol. Ce problème est aggravé lorsque ces sources sont situées au-dessous des couloirs d'approche et de départ des aéroports.

### 3.6 Service mobile terrestre

Il n'existe pas de critères de protection globalement applicables aux cas de brouillages causés au service mobile terrestre par des sources de rayonnement non intentionnel telles que les systèmes CPL. Il serait nécessaire de définir une base de travail pour déterminer les exigences de protection auxquelles les systèmes CPL doivent satisfaire.

Quoiqu'il en soit, les critères de protection applicables aux rayonnements émis par ces systèmes ne doivent pas être moins contraignants que ceux qui ont été définis dans le cadre des études de partage entre le service mobile terrestre et les autres services de radiocommunication primaires et secondaires. Les Recommandations de l'UIT-R suivantes donnent des exemples de critères de protection qui ont été définis pour le service mobile terrestre dans la bande de fréquences 80-470 MHz:

- Recommandation UIT-R M.1808 – Caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes mobiles terrestres conventionnels et à canaux partagés exploités dans les fréquences attribuées au service mobile au-dessous de 869 MHz à utiliser dans les études de partage. Cette Recommandation contient une étude sur les brouillages et les critères de qualité de fonctionnement (§ 2.1 et 2.2 de l'Annexe 1) ainsi qu'un ensemble complet de caractéristiques techniques en vue d'une exploitation dans les bandes 138-174 MHz et 406,1-470 MHz.
- Recommandation UIT-R M.1824 – Caractéristiques des systèmes de radiodiffusion télévisuelle en extérieur (TVOB), de reportage d'actualité électronique (ENG) et de production électronique sur le terrain (EFP) du service mobile à utiliser pour les études de partage. Cette Recommandation donne les caractéristiques des systèmes de radiodiffusion télévisuelle en extérieur (TVOB, *television outside broadcast*), de reportage d'actualité électronique (ENG, *electronic news gathering*) et de production électronique sur le terrain (EFP, *electronic field production*) du service mobile. En particulier, les Tableaux 2 et 3 recensent les paramètres techniques des systèmes d'interphone/talkie-walkie et des systèmes de liaison audio respectivement, dont certains concernent la bande de fréquences 80-470 MHz.

En outre, la Résolution 646 (CMR-03) identifie des parties de la bande 380-470 MHz qui peuvent être utilisées pour la protection du public et les secours en cas de catastrophe.

Parmi les systèmes du service mobile terrestre fonctionnant au-dessus de 470 MHz, citons notamment les systèmes cellulaires et les systèmes IMT. A noter que certains pays mettent aussi en œuvre des systèmes cellulaires au-dessous de 470 MHz. S'agissant des systèmes cellulaires, la Recommandation UIT-R M.1823 intitulée «Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes mobiles terrestres cellulaires numériques à utiliser dans les études de partage» fournit des informations sur les critères de protection.

### 3.7 Radioastronomie

Le service de radioastronomie (SRA) bénéficie d'attributions de fréquences à titre primaire dans trois bandes entre 80 et 470 MHz (voir le Tableau 10), attributions pour lesquelles le numéro 5.149 du RR s'applique. Les bandes des 150 et des 410 MHz sont utilisées pour les observations du continuum seulement (par mesure de la puissance totale) alors que la bande des 327 MHz est utilisée pour les observations du continuum et celles des raies spectrales. Les seuils de brouillage préjudiciable au SRA figurent dans la Recommandation UIT-R RA.769 et les valeurs de champ électrique équivalentes dans le Rapport UIT-R RA.2131. Ces valeurs de seuil sont reproduites au Tableau 10.

TABLEAU 10

#### Seuils équivalents de brouillage préjudiciable en termes de champ électrique applicables au service de radioastronomie

Bande SRA (MHz)	Seuil de pfd dB(W/m <sup>2</sup> )	Seuil de spfd dB(W/m <sup>2</sup> /Hz)	Seuil de champ électrique (dB(μV/m))
150,05-153	-194 dans 2,95 MHz	-259	-48,2 dans 2,95 MHz
322-328,6	-189 dans 6,6 MHz pour le mode continuum -204 dans 10 kHz pour le mode raies spectrales	-258 pour le mode continuum -244 pour le mode raies spectrales	-43,2 dans 6,6 MHz pour le mode continuum -58,2 dans 10 kHz pour le mode raies spectrales
406,1-410	-189 dans 3,9 MHz	-255	-43,2 dans 3,9 MHz

### 3.8 Service mobile par satellite

Les paragraphes suivants indiquent les bandes de fréquences inférieures à 470 MHz qui sont attribuées au service mobile par satellite (SMS) ainsi que le critère de protection et les paramètres des systèmes.

#### 3.8.1 Bandes de fréquences

Au-dessous de 470 MHz, plusieurs bandes sont attribuées au service mobile par satellite (SMS):

- la bande 137-138 MHz est attribuée au SMS dans le sens espace vers Terre;
- la bande 148-150,05 MHz est attribuée au SMS dans le sens Terre vers espace;
- les bandes 161,9625-161,9875 MHz et 162,0125-162,0375 MHz sont attribuées au SMS dans le sens Terre vers espace (voir le numéro 5.227A du RR);
- la bande 235-322 MHz est attribuée au SMS (voir le numéro 5.254 du RR);
- la bande 312-315 MHz est attribuée au SMS dans le sens Terre vers espace;
- la bande 335,4-399,9 MHz est attribuée au SMS (voir le numéro 5.254 du RR);
- la bande 387-390 MHz est attribuée au SMS dans le sens espace vers Terre;
- la bande 399,9-400,05 MHz est attribuée au SMS dans le sens Terre vers espace;
- la bande 400,15-401 MHz est attribuée au SMS dans le sens espace vers Terre;
- la bande 406-406,1 MHz est attribuée au SMS dans le sens Terre vers espace et son utilisation est limitée aux stations de radiobalise de localisation des sinistres par satellite à faible puissance (voir le numéro 5.266 du RR); toute émission susceptible de causer un brouillage préjudiciable aux utilisations autorisées dans la bande 406-406,1 MHz est interdite (voir le numéro 5.267 du RR).

#### 3.8.2 Critère de protection

En appliquant de bonnes pratiques d'ingénierie du spectre, on limite en principe les rayonnements dus aux dispositifs CPL aux valeurs minimales qui sont techniquement faisables. Cela dit, dans le cas des rayonnements émis par ces dispositifs, un critère  $\Delta T/T$  de 1% est appliqué pour déterminer le niveau admissible de brouillage causé aux récepteurs du SMS (spatioportés, aéroportés ou au sol). Ce critère est jugé suffisant par analogie avec le service fixe par satellite (SFS), car il est recommandé, dans la Recommandation UIT-R S.1432-1, d'appliquer cette valeur aux sources de brouillages autres que celles du SFS et des services de statut coprimaire.

#### 3.8.3 Paramètres de système

Les paramètres détaillés des systèmes du SMS fonctionnant dans les bandes 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz et 400,15-401 MHz figurent à l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1184-2 intitulée «Caractéristiques techniques des systèmes mobiles par satellite dans les bandes de fréquences inférieures à 3 GHz à utiliser pour élaborer des critères de partage entre le service mobile par satellite (SMS) et d'autres services.» Pour faciliter la lecture, les paramètres de système pertinents requis pour assurer la protection des récepteurs du SMS contre les rayonnements dus aux systèmes CPL ont été résumés dans les Tableaux 11 et 12.

TABLEAU 11

**Caractéristiques des récepteurs des stations terriennes mobiles dans la bande 137-138 MHz**

Gain de l'antenne de la station terrienne mobile en réception (dBi)	5,7	0,5	-3	3
Diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne mobile en réception	Equidirectif	Equidirectif	Equidirectif	Equidirectif
Température de bruit de la station terrienne mobile en réception (K)	4 467	813	66	1 565
Localisation des stations terriennes mobiles en réception	Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier
Polarisation des stations terriennes mobiles en réception	RHCP	RHCP	LHCP	RHCP

TABLEAU 12

**Caractéristiques des récepteurs des satellites du SMS dans la bande 148-150,05 MHz**

Altitude du satellite en réception (km)	950	775	800	893	1 000
Gain de l'antenne de réception du satellite (dBi)	-2	0	0	5,6	6
Diagramme de rayonnement de l'antenne de réception du satellite	Isoflux	Toroïdal	$10 \log (\cos 2 \theta)$	$10 \log (\cos 2 \theta)$	Isoflux
Température de bruit du satellite en réception (K)	309	400	1 000	1 480	940
Polarisation du récepteur	Linéaire	Linéaire	RHCP	LHCP	Linéaire

En ce qui concerne les attributions de fréquences supérieures à 200 MHz aux fins de leur utilisation par le service mobile par satellite, il convient d'apporter le plus grand soin à la limitation des effets spécifiques d'agrégation des brouillages causés par les systèmes CPL dans la bande 406-406,1 MHz. Il s'agit en effet des fréquences utilisées par les satellites de recherche et de sauvetage, et les numéros 5.266 et 5.267 du Règlement des radiocommunications s'appliquent.

TABLEAU 13

**Caractéristiques des récepteurs des satellites du SMS dans la bande 399,9-400,05 MHz**

Altitude du satellite en réception	667 km
Gain de l'antenne de réception du satellite	7 dBi
Diagramme de rayonnement de l'antenne de réception du satellite	Cardioïde
Température de bruit du satellite en réception	389 K
Polarisation du récepteur	RHCP

TABLEAU 14

**Caractéristiques des récepteurs des stations terriennes mobiles dans la bande 400,15-401 MHz**

Gain de l'antenne de la station terrienne mobile en réception (dBi)	5,7	3	3	7
Diagramme de rayonnement de l'antenne de la station terrienne mobile en réception	Equidirectif	Equidirectif	Equidirectif	Equidirectif
Température de bruit de la station terrienne mobile en réception (K)	4 467	229	505	550
Localisation des stations terriennes mobiles en réception	Monde entier	Monde entier	Monde entier	Monde entier
Polarisation des stations terriennes mobiles en réception	RHCP	RHCP	RHCP	LHCP

En ce qui concerne l'attribution au SMS dans la bande 454-456 MHz, les caractéristiques suivantes, extraites de la base de données de l'UIT, correspondent à des systèmes existants fonctionnant dans cette bande:

- altitude du satellite en réception: 650 km;
- gain de l'antenne de réception du satellite: 0 dBi;
- diagramme de rayonnement de l'antenne de réception du satellite: équidirectif;
- température de bruit du satellite en réception: 590 K;
- polarisation du satellite en réception: LHCP.

Il n'y a pas de données en ce qui concerne la bande 459-460 MHz, mais il semble que les caractéristiques correspondant à la bande 454-456 MHz s'appliquent.

**3.8.4 Cas particulier de la bande 406-406,1 MHz**

Cette bande est attribuée au SMS dans le sens Terre vers espace et son utilisation est limitée aux stations de radiobalise de localisation des sinistres par satellite à faible puissance (voir le numéro 5.266 du RR). Toute émission susceptible de causer des brouillages préjudiciables aux utilisations autorisées dans la bande 406-406,1 MHz est interdite (voir le numéro 5.267 du RR). Cette bande est notamment utilisée par le système mondial de recherche et de sauvetage par satellite Cospas-Sarsat. Toutes les informations nécessaires concernant les systèmes à satellites utilisant

cette bande figurent dans la Recommandation UIT-R M.1478 intitulée «Critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz.» Il importe d'insister sur la nécessité de garantir à ces systèmes, qui offrent des services de sécurité, un environnement sans brouillage.

### 3.9 Service de radionavigation par satellite

Les paragraphes suivants indiquent les bandes de fréquences inférieures à 470 MHz qui sont attribuées au service de radionavigation par satellite (SRNS) ainsi que le critère de protection et les paramètres des systèmes.

#### 3.9.1 Bandes de fréquences

Au-dessous de 470 MHz, deux bandes de fréquences sont attribuées au service de radionavigation par satellite (SRNS):

- la bande 149,9-150,05 MHz est attribuée au SRNS;
- la bande 399,9-400,05 MHz est attribuée au SRNS.

#### 3.9.2 Critère de protection

En appliquant de bonnes pratiques d'ingénierie du spectre, on limite en principe les rayonnements dus aux dispositifs CPL aux valeurs minimales qui sont techniquement faisables. Cela dit, dans le cas des rayonnements émis par ces dispositifs, un critère  $\Delta T/T$  de 1% est appliqué pour déterminer le niveau admissible de brouillage causé aux récepteurs du SRNS (spatioportés, aéroportés ou au sol). Ce critère est jugé suffisant par analogie avec le service fixe par satellite (SFS), car il est recommandé, dans la Recommandation UIT-R S.1432-1, d'appliquer cette valeur aux sources de brouillages autres que celles du SFS et des services de statut coprimaire.

#### 3.9.3 Paramètres de système

En ce qui concerne l'attribution au SRNS dans la bande 149,9-150,05 MHz, les caractéristiques suivantes, extraites de la base de données de l'UIT, correspondent à des systèmes existants fonctionnant dans cette bande:

- gain de l'antenne de réception de la station terrienne du SRNS: 0 dBi;
- diagramme de rayonnement de l'antenne de réception de la station terrienne du SRNS: équidirectif;
- température de bruit de la station terrienne réceptrice du SRNS: 200 K;
- localisation des stations terriennes réceptrices du SRNS: monde entier.

En ce qui concerne l'attribution au SRNS dans la bande 399,9-400,05 MHz, les caractéristiques suivantes, extraites de la base de données de l'UIT, correspondent à des systèmes existants fonctionnant dans cette bande:

- gain de l'antenne de réception de la station terrienne du SRNS: 0 dBi;
- diagramme de rayonnement de l'antenne de réception de la station terrienne du SRNS: équidirectif;
- température de bruit de la station terrienne de réception du SRNS: 200 K;
- localisation des stations terriennes réceptrices du SRNS: monde entier.



### 3.10 Autres systèmes/applications de radiocommunication

Cette section traite des systèmes et applications de radiocommunication qui ne relèvent pas directement d'un service de radiocommunication. Outre le paragraphe concernant les systèmes de communication des implants médicaux, des informations relatives à d'autres systèmes et applications seront éventuellement ajoutées dans une future version du présent Rapport.

#### 3.10.1 Systèmes de communication des implants médicaux hertziens

Les systèmes de communication des implants médicaux hertziens sont exploités dans la bande 401-406 MHz. Ils sont notamment utilisés pour des applications de suivi et de programmation d'implants médicaux tels que des pacemakers, des neurostimulateurs et d'autres dispositifs du même type. Compte tenu du vieillissement de la population, les services de santé sont de plus en plus complexes et coûteux. Pour faire face à cette évolution, il faudra recourir davantage aux systèmes de suivi électronique.

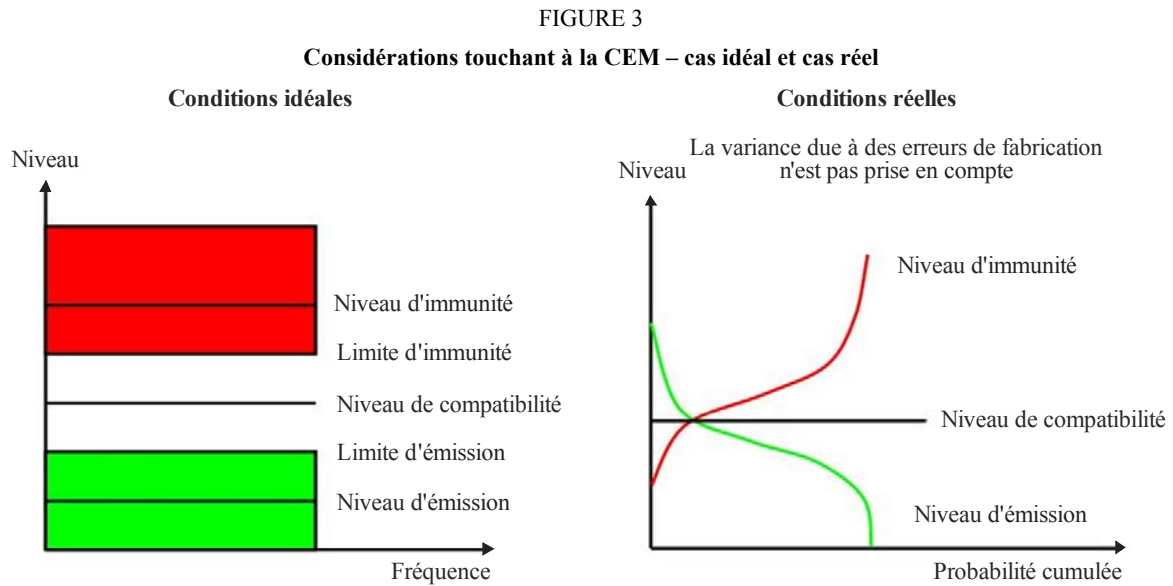
La bande utilisée par les implants médicaux actifs à ultra faible puissance (ULP-AMI) étant partagée avec un service de radiocommunication primaire, il est nécessaire d'appliquer un mécanisme d'accès aux voies sophistiqué. En ce qui concerne le suivi à domicile, on utilise un contrôleur (ULP-AMI-P) avec un seuil de détection de type LBT («écouter avant de parler») égal à +16 dB( $\mu$ V/m) en intensité de champ pour un gain d'antenne type de 0 dBi. Ces contrôleurs sont branchés sur le réseau électrique et généralement placés à proximité immédiate d'autres appareils possédant un câble d'alimentation: réveils, lampes de chevet, couvertures chauffantes, etc. De toute évidence, ces câbles sont une source de rayonnement du signal CPL. Pour que le système d'implant fonctionne correctement, il faut que le niveau de bruit émis par les futurs systèmes CPL fonctionnant à des fréquences allant jusqu'à 470 MHz et au-delà soit, dans la bande 401-406 MHz, inférieur à +16 dB( $\mu$ V/m) dans une largeur de bande de 300 kHz ou à +12 dB( $\mu$ V/m) environ dans une largeur de bande de 120 kHz.

## 4 Possibilités de prévention et de suppression des brouillages

### 4.1 Mesures CEM adaptatives

Le principe de la compatibilité électromagnétique (CEM), tel qu'il est traditionnellement défini, est adapté aux rayonnements constants et repose sur des limites d'immunité contre les signaux à hautes fréquences. La plage de fonctionnement est définie par la limite de rayonnement de l'ensemble des appareils présents et par leur seuil d'immunité. Les équipements qui fonctionnent à l'intérieur de cette plage ne produisent pas de brouillages dans leur environnement. Cette conception classique de la CEM, qui est illustrée dans la partie gauche de la Fig. 3, a pour inconvénient de laisser certaines ressources inutilisées. Par ailleurs, il arrive que l'on doive protéger à grands frais des appareils qui ne seront peut-être pas exposés à des signaux perturbateurs. Autrement dit, toutes les fréquences sont filtrées indépendamment de l'endroit et du moment où l'appareil est en fonctionnement. Dans ces conditions, il existe un risque de sous-utilisation des ressources.

Il arrive parfois que la réception d'un signal de faible puissance soit perturbée bien que les appareils fonctionnant à proximité respectent les normes CEM qui s'appliquent. La partie droite de la Fig. 3 illustre ce cas malheureusement bien réel. D'un point de vue tant économique que technique, cela n'est pas satisfaisant. En l'occurrence, il aurait fallu choisir des limites plus strictes.



Rapport SM.2212-03

En règle générale, les systèmes radioélectriques (systèmes mobiles terrestres, télévision, radio numérique ou analogique, etc.) sont les appareils les plus sensibles dans les habitations privées et les bâtiments professionnels, car ils reçoivent une large gamme d'amplitudes de signaux. La mise en œuvre de la CEM consiste donc essentiellement à se protéger contre les signaux radioélectriques dans les hautes fréquences et, depuis des décennies, à fixer des limites au rayonnement radioélectrique produit par les équipements mis sur le marché. Dans le passé, cette solution simple au problème de compatibilité était bien adaptée. Les sources de brouillage classiques comme les machines à collecteur ou les alimentations à découpage produisent, par intermittence, des rayonnements dans une large bande de fréquences. Comme il n'était pas possible de supprimer ces brouillages de façon à la fois sélective et souple, la solution adoptée a été de restreindre le rayonnement maximal à une valeur de quelques dB au-dessous de la limite. Mais ces limites, qui ont été définies pour certaines conditions de probabilité spatiale, temporelle et fréquentielle des sources de brouillage, sont de plus en plus contestées par les concepteurs et les utilisateurs de systèmes radioélectriques. Aujourd'hui, en effet, un grand nombre de systèmes modernes, sources de brouillage, émettent en continu dans une large bande de fréquences sans bénéficier d'une attribution dans le Règlement des radiocommunications, de sorte que les prérequis fixés à l'origine ne sont plus nécessairement valides.

Il est aujourd'hui possible d'intégrer des mesures de CEM adaptatives dans les systèmes de communication modernes câblés reposant sur la technologie MROF (ADSL, VDSL, CPL, etc.) et ainsi de contrôler, de façon très souple, les émissions de rayonnement non désirées. Les systèmes de radiocommunication cognitifs sont même capables d'adapter leurs émissions spectrales à l'environnement dans lequel ils se trouvent à un moment donné.

Les modems de communication à courants porteurs en ligne spécifiés dans la norme ETSI TS 102 578 par exemple mettent en œuvre cette solution de type adaptatif. Contrairement aux modems CPL conventionnels, qui sont susceptibles de brouiller les services de radiocommunication, les modems conçus selon la méthode du «*smart notching*» ou «filtrage coupe-bande intelligent» ne perturbent pas les récepteurs radioélectriques.

Les fréquences d'émission des modems CPL se chevauchent avec celles des systèmes radioélectriques. Or les câbles électriques des habitations privées ne sont pas blindés et présentent, du fait de leur agencement, une certaine asymétrie. Si un récepteur radio fonctionne à proximité d'un câble acheminant une communication CPL active, sa qualité de réception peut donc être dégradée. La présence de systèmes de communication fonctionnant dans la même gamme de fréquences, dans un environnement présentant des couplages entre systèmes (par conduction et par rayonnement), conduit inévitablement à des situations de brouillage.

Etant donné que le réseau de distribution à basse tension se comporte comme une antenne, les câbles électriques situés dans les bâtiments captent des signaux émis par des services de radiodiffusion. Les modems CPL équipés d'un «filtrage coupe-bande intelligent» (tel que spécifié dans la norme ETSI TS 102 578) détectent la présence de ces services en mesurant le spectre du signal acheminé par le réseau électrique. Après analyse, ils excluent les fréquences susceptibles d'être reçues par des équipements radio à ondes courtes. Ce processus est appelé «filtrage coupe-bande». Etant donné que la transmission repose sur une modulation MROF adaptative et sur un grand nombre de porteuses, le «filtrage coupe-bande intelligent», qui ne supprime que les porteuses présentant un faible rapport signal/bruit, n'engendre qu'une faible diminution du débit binaire. Une analyse continue de l'environnement permet au système de réduire les brouillages au minimum et d'optimiser le débit en fonction des conditions en temps réel.

Ces systèmes adaptatifs, équipés du «filtrage coupe-bande intelligent», ne mettent donc pas en œuvre la compatibilité électromagnétique de la même manière que les systèmes traditionnels: ils peuvent à la fois respecter et améliorer cette compatibilité, tout en évitant les contraintes trop rigides. Selon la définition du vocabulaire électrotechnique international (IEV, *International Electrotechnical Vocabulary*), un appareil est compatible d'un point de vue électromagnétique s'il fonctionne dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

#### **4.2 Filtrage coupe-bande permanent**

Il est communément admis que les systèmes utilisant les bandes attribuées au service d'amateur doivent mettre en œuvre un filtrage coupe-bande permanent.

En effet, la bande MF, qui est le premier moyen d'information radio, est trop importante pour que l'on accepte le risque d'un brouillage par des systèmes CPL non contrôlés. On préfère donc opter pour une solution radicale: le plafonnement de la gamme de fréquences des CPL et autres systèmes à 80 MHz, ainsi que l'a préconisé la CE 15 de l'UIT-T. A défaut, il convient de mettre en place un filtrage coupe-bande permanent sur l'ensemble de la gamme 87,5-108 MHz.

S'agissant de la radiodiffusion numérique DAB, pour laquelle les intensités de champ requises sont généralement inférieures à celles de la réception MF, on craint qu'il ne soit encore plus difficile de détecter, avec une bonne fiabilité, des signaux DAB perturbés par les câbles électriques et de protéger les services correspondants. Le filtrage coupe-bande permanent est donc recommandé pour les bandes de fréquences DAB.

#### **4.3 Filtrage coupe-bande dynamique**

Il a été proposé de prendre la norme ETSI TS 102 578 relative au filtrage coupe-bande dynamique (applicable à la radiodiffusion en ondes décimétriques) comme modèle pour protéger les fréquences supérieures à 30 MHz, moyennant quelques changements et/ou extensions. On notera toutefois que cette norme a été élaborée en étroite coopération avec les radiodiffuseurs et sous leur contrôle, et qu'elle n'a été acceptée que comme un compromis visant à résoudre les problèmes spécifiques que pose la coexistence des systèmes de radiodiffusion et des équipements CPL dans la gamme des

ondes décamétriques. En outre, avant que le compromis ne soit accepté, il a fallu démontrer que la technique était opérationnelle. Les essais ont été réalisés sur un seul système prototype, ce qui est assez limité.

Quant à savoir si l'on peut, de façon simple, étendre cette technique à la radiodiffusion dans les bandes d'ondes métriques, la réponse est loin d'être évidente. Les deux configurations présentent en effet de nombreuses différences:

- la bande MF est utilisée pour offrir des services aux particuliers; c'est un mode de radiodiffusion très répandu, que la plupart des auditeurs écoutent à leur domicile pendant de longues périodes de temps;
- compte tenu de ces spécificités, les auditeurs sont très exigeants (la radio MF offre facilement une qualité très supérieure à celle des récepteurs MA en ondes courtes, proche de la qualité CD dans un environnement domestique normal) et toute perte de qualité serait très mal perçue;
- sur le plan technique, la modulation de fréquence est très différente de la modulation d'amplitude;
- la longueur d'onde des signaux en bande MF étant proche des longueurs types qui caractérisent le câblage électrique, ou inférieures à ces longueurs types (contrairement aux signaux en ondes décamétriques), les brouillages CPL rayonnés dans l'environnement sont d'autant plus gênants.

Il est loin d'être évident qu'un système de filtrage coupe-bande dynamique puisse fonctionner un tant soit peu, ne serait-ce que pour détecter de façon adéquate et fiable la présence des signaux radiodiffusés à protéger par cette méthode. On retiendra qu'en ville, on peut souvent capter une trentaine d'émissions en bande MF, si bien qu'en pratique, avec une largeur de filtre d'au moins 800 kHz, cette méthode reviendrait à couper l'ensemble de la bande.

On est dès lors en droit de se demander si le jeu en vaut la chandelle, compte tenu du gain envisageable en termes de capacité CPL. Dans de nombreux pays européens (en fait, dans la plupart d'entre eux), la bande MF est utilisée de façon très intensive et les régulateurs font face à des demandes croissantes d'attribution de nouvelles fréquences et de nouveaux services MF. Les stations MF sont déjà aussi proches en fréquence que possible et sont planifiées non seulement de façon à éviter les brouillages dans le même canal, mais aussi en tenant compte de l'utilisation des canaux adjacents dans un intervalle de  $\pm 400$  kHz.

La question de la largeur du filtre coupe-bande est donc particulièrement délicate. Selon certaines estimations, une valeur de 200 kHz serait suffisante. Mais la méthode employée pour calculer cette valeur, à savoir l'application de la règle de Carson à la MF MONO, n'est pas correcte. Elle donne plutôt une indication de l'intervalle dans lequel se situe la plus grande partie de l'énergie transmise (en MONO) et donc la largeur de bande minimale que doit posséder un récepteur pour que la distorsion due à la troncature du spectre reste dans des limites acceptables. Cette méthode ne prend donc pas en compte le fait que la quasi-totalité des programmes MF sont transmis en stéréo et qu'ils s'accompagnent d'informations de signalisation RDS. Les fréquences en bande de base dépassent donc largement les 15 kHz et, dans les faits, avoisinent les 60 kHz. Il est essentiel que le filtre coupe-bande du système CPL s'étende au-delà de la largeur du canal MF analogique ou numérique proprement dit et qu'il englobe les canaux adjacents.

Plus important encore, la méthode employée fait abstraction du paramètre essentiel, à savoir la sensibilité des récepteurs aux brouillages, laquelle dépend beaucoup plus des spécificités de conception de chaque récepteur. Autrement dit, il faut tenir compte des différentes caractéristiques de conception des millions de récepteurs déjà en service chez les particuliers. Seuls des essais réalisés sur une large sélection de récepteurs (en fait, une sorte de mesure de ratio de protection à différents décalages de fréquence) peuvent permettre de définir les caractéristiques du filtre

coupe-bande à utiliser, c'est à dire la largeur de la coupure la plus profonde, mais aussi – ce qui n'est pas moins important – la forme des bords du filtre. A noter que la norme TS 102 578, applicable aux récepteurs d'ondes décamétriques, prend en compte ces deux caractéristiques. Il faudrait que le filtre coupe-bande s'étende sur 400 kHz à gauche d'une porteuse MF jusqu'à un ensemble de sous-porteuses CPL contiguës (non filtrées) et qu'il s'étende aussi sur 400 kHz à droite de cette même porteuse MF jusqu'à l'ensemble de sous-porteuses CPL contiguës suivant. Les filtres coupe-bande des sous-porteuses CPL devraient donc afficher une coupure maximale de 800 kHz de large, c'est-à-dire  $\pm 400$  kHz de part et d'autre de chaque porteuse MF détectée, auxquels s'ajoutent les pentes du gabarit. Dans de nombreuses zones urbaines, cela reviendrait sans doute *in fine* à filtrer l'ensemble de la bande.

En ce qui concerne l'application du filtrage coupe-bande dynamique aux services de radiocommunication autres que la radiodiffusion, il faut bien comprendre que cette technique n'a d'intérêt que si la détection est effectuée à l'endroit même où les brouillages peuvent être préjudiciables. Ainsi, si la réception ne se fait en principe qu'à l'extérieur, il est inutile de détecter les signaux reçus à l'intérieur des bâtiments, car les résultats obtenus ne sont pas représentatifs des brouillages cumulatifs susceptibles d'être reçus dans l'environnement réel de fonctionnement du système. En outre, si les signaux émis en vue d'une réception en extérieur peuvent aussi être captés à l'intérieur d'un bâtiment, les câbles électriques agissent comme une antenne efficace et peuvent, de ce fait, contribuer à l'augmentation des niveaux de brouillage à l'extérieur.

#### **4.4 Filtrage coupe-bande en fonction de la géolocalisation**

Pour mettre en œuvre cette technique, il faudrait disposer d'une base de données des services dont l'administration nationale souhaite protéger la réception, et ce pour tout emplacement donné. Une solution simple consisterait à utiliser les zones de concession dans le cas des radiodiffuseurs commerciaux et les zones de services prévues dans les autres cas. Toutefois, comme la couverture réelle s'étend en règle générale au-delà de la zone – théorique – de concession ou de service, l'administration nationale concernée serait confrontée à la délicate question de restreindre le choix des auditeurs au profit de l'utilisation des CPL. Cette solution pourrait soulever des problèmes juridiques quant à la légitimité de restreindre l'accès à des services auparavant disponibles.

Par ailleurs, d'un point de vue pratique, cette solution soulève d'autres problèmes. Il faudrait notamment qu'un organe soit chargé de la création et de la maintenance de la base de données de géolocalisation, activité qui demanderait beaucoup de temps et d'argent, sans parler des difficultés juridiques en cas d'erreur de saisie ayant une incidence sur la couverture et la rentabilité commerciale. Qui serait chargé de la réalisation? Qui paierait pour cela? Cette technique reviendrait à rejeter certaines demandes d'attribution de fréquences visant à élargir l'offre de services de radiodiffusion. Les fournisseurs de service CPL seraient donc obligés de verser un montant suffisant pour que des fréquences leur soient réservées.

Dans le cas de la bande MF, les observations précédentes relatives à la largeur du filtre coupe-bande et à la quantité de spectre qui pourrait être réattribuée aux CPL s'appliquent également.

#### **4.5 Commande de puissance à l'émission selon la Recommandation G.9960 de l'UIT-T**

Les Recommandations G.9960/G.9961 {1, 2} de l'UIT-T (aussi appelées «G.hn») relatives à la constitution de réseaux à domicile spécifient divers outils permettant de commander la puissance CPL émise par un dispositif G.hn donné (nœud) sur un réseau (domaine). Grâce à ces outils, il est possible de faire en sorte qu'un nœud respecte diverses réglementations (CISPR, CENELEC, etc.) ainsi que certaines exigences en matière de consommation d'énergie (Code de conduite européen par exemple). La présente section illustre la procédure à appliquer pour créer et configurer un masque de DSP sur tous les nœuds d'un domaine. Elle montre aussi comment commander de façon indépendante la puissance à l'émission d'un nœud donné.

Actuellement, dans la Recommandation G.9960 de l'UIT-T, la limite fréquentielle supérieure effective est fixée à 80 MHz (alignement sur le Rapport UIT-R SM.2158). En principe, les outils fournis dans cette Recommandation permettent aussi d'éviter ou de faire cesser les brouillages, si les systèmes CPL utilisent des fréquences supérieures à 80 MHz.

#### 4.5.1 Construction d'un masque de DSP à l'émission

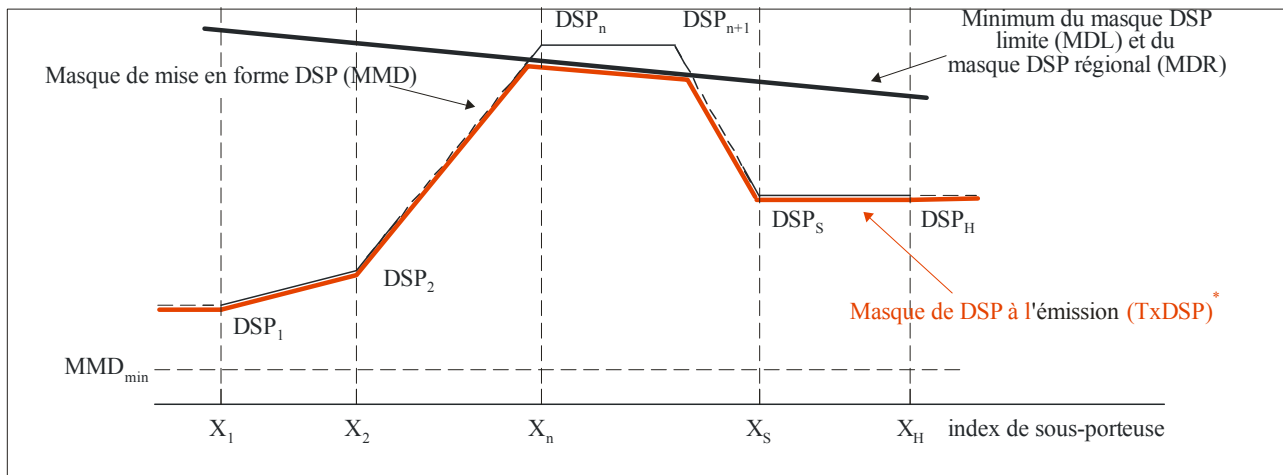
Dans un domaine G.hn, tous les nœuds doivent se conformer au masque DSP à l'émission (TxDSP) fixé par un nœud maître (maître du domaine). Un nœud n'est pas autorisé à émettre des signaux supérieurs à ce masque à quelque moment que ce soit. Le TxDSP, décrit au § 7.1.5 {1}, est défini par les composants suivants:

1. Masque DSP limite (MDL, § 7.1.5 {1}): masque de DSP défini pour chaque plan de fréquences (par exemple, bande de base CPL à 100 MHz)
  - le MDL est décrit dans le corps de la Recommandation (voir par exemple la Fig. 7-32 du § 7.2.2.3 {1} pour ce qui concerne la bande de base CPL à 100 MHz);
  - le MDL définit la limite absolue de DSP correspondant à la limite maximale admissible (à savoir le maximum de toutes les valeurs fixées par des réglementations régionales);
  - le MDL donne une indication sur la manière de concevoir un dispositif que l'on pourra déployer dans toutes les régions.
2. Masque DSP régional (MDR, § 7.1.5 {1}): masque de DSP défini pour chaque plan de fréquences et chaque région:
  - le MDR peut être spécifié dans des annexes séparées de façon à prendre en compte des réglementations régionales différentes. A ce jour, aucun MDR n'a été défini (un MDR pour l'Amérique du Nord a été envisagé, mais il n'a pas été intégré au document final adopté);
  - si, dans une région donnée, aucun MDR n'a été défini, le MDL s'applique.
3. Masque de sous-porteuse (MS, § 7.1.5.1 {1}): des bandes de fréquences masquées sont définies pour un MDL ou un MDR donné.
  - Le MS correspond à un filtrage coupe-bande. Le maître du domaine peut spécifier jusqu'à 32 bandes de fréquences masquées (§ 8.8.5.5 {2}). Cette information est diffusée à tous les nœuds via un message MAP (message périodique émis par le maître du domaine pour indiquer un plan d'accès au support physique) et peut être modifiée de façon dynamique.
4. Masque de mise en forme DSP (MMD, § 7.1.5 {1}): les points de rupture de la courbe de DSP sont définis pour un MDL ou un MDR donné.
  - Le maître du domaine peut spécifier jusqu'à 32 points de rupture de DSP (§ 8.8.5.5 {2}). Cette information est diffusée à tous les nœuds via un message MAP et peut être modifiée de façon dynamique.
5. Bandes radioamateur internationales (§ 7.1.5.3 {1})
  - Plusieurs des bandes radioamateur dans l'intervalle 0-100 MHz sont spécifiées à l'Annexe D {1}. Le maître du domaine peut filtrer une ou plusieurs de ces bandes (§ 8.8.5.5 {2}). Cette information est diffusée à tous les nœuds via un message MAP et peut être modifiée de façon dynamique.

Le masque de DSP à l'émission (TxDSP) est construit à partir de ces cinq composants, comme indiqué au § 7.1.5.2 {1} et à la Fig. 4.

FIGURE 4

## Construction d'un masque de DSP à l'émission (TxDSP)



\* Cette figure ne montre pas le masque de sous-porteuse (MS)

Rapport SM.2212-04

#### 4.5.2 Notification d'un masque de DSP à l'émission

Le maître du domaine diffuse périodiquement le TxDSP pour en informer tous les nœuds du domaine avant qu'ils ne commencent à émettre sur la ligne (y compris les nouveaux nœuds qui sont sur le point de rejoindre le domaine). Le maître du domaine peut même modifier cette information de façon dynamique (§ 8.8.5 {2}), possibilité qui peut servir à mettre en œuvre un filtrage coupe-bande dynamique.

Tout nouveau nœud détecte et décode le message MAP émis par le maître de façon à connaître le TxDSP appliqué au domaine. Tant qu'il reste membre du domaine, il doit respecter ce masque. Les nœuds sont autorisés à émettre avec une puissance inférieure à celle spécifiée par le masque.

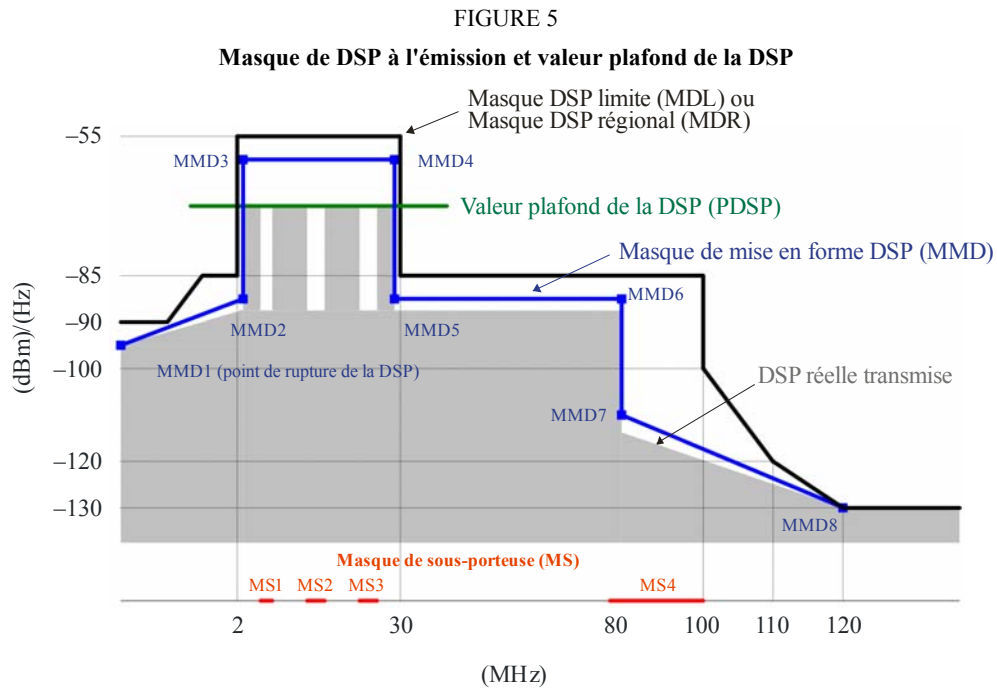
Le maître du domaine a la possibilité de modifier certains de ces composants à la volée (MS, MMD, bandes des dispositifs de radioamateur portables on/off). La norme G.hn spécifie en outre un moyen de synchroniser toutes les nœuds du domaine avec un nouveau masque TxDSP.

#### 4.5.3 Valeur plafond de la DSP

La valeur plafond de la DSP (PDSP, § 7.1.5.4 {1}) désigne la valeur plafond de la DSP appliquée aux signaux transmis entre plusieurs nœuds. Alors que la TxDSP vaut pour tous les nœuds d'un domaine, la PDSP s'applique à un nœud donné, sachant qu'elle peut varier selon la connexion et dans le temps pour refléter les modifications de canal. Cette valeur est acheminée dans l'en-tête de la trame PHY (champ APSDC-M, § 7.1.2.3.2.2.11 {1}) pour que le destinataire puisse connaître le niveau maximal d'émission du signal reçu.

Au cours de la procédure d'estimation du canal, le destinataire indique à l'émetteur la valeur optimale de PDSP (Tableau 8-93 du § 8.11.7.3 {2}). Ce mécanisme permet de réduire la puissance émise et/ou la puissance reçue, et donc de limiter non seulement la consommation totale d'énergie du réseau mais aussi les brouillages causés aux autres réseaux.

La Figure 5 illustre la relation entre TxDSP et PDSP.



#### 4.5.4 Références

- {1} Recommandation G.9960 (2010) de l'UIT-T: Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification, prépubliée (en anglais seulement).
- {2} Recommandation G.9961 (2010) de l'UIT-T: Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – Data link layer specification, prépubliée (en anglais seulement).

#### 4.6 Conclusions relatives à la prévention et à la suppression des brouillages

Il conviendrait de démontrer la faisabilité et l'efficacité des techniques de réduction des brouillages pour certains services et certaines bandes de fréquences. Si ces techniques sont mises en œuvre sans avoir été correctement évaluées et sans les garanties nécessaires, et que des équipements CPL mal spécifiés sont mis sur le marché, les administrations nationales risquent d'être confrontées à de multiples réactions négatives et d'avoir à gérer de nombreuses réclamations.

### 5 Conclusions générales

Le présent Rapport illustre les risques de brouillages de divers services de radiocommunication en présence d'émissions provenant de systèmes et de dispositifs CPL. Il décrit les caractéristiques des rayonnements radioélectriques des systèmes CPL ainsi que les paramètres et les critères de protection des dispositifs de radiocommunication perturbés par ces systèmes. Il examine en outre les méthodes susceptibles d'atténuer les brouillages provenant des émissions CPL.



## Annexe 1

### Considérations touchant à l'émission et à la propagation de bruits dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques

#### A1 Analyse détaillée de la conversion de mode au niveau d'une dérivation

Les dérivations vers les plafonniers et les interrupteurs muraux que l'on trouve fréquemment dans le réseau électrique des habitations privées sont fortement déséquilibrées dans la gamme des radiofréquences. Elles convertissent les signaux de mode différentiel en courants de mode commun ou en courants d'antenne, qui sont à l'origine des rayonnements provenant des câbles électriques. Si la communauté des radiocommunications connaît bien ces phénomènes, il semble que celle du secteur des CPL en soit peu consciente. Le § 2.1.4.3 du Rapport UIT-R SM.2158 montre, à partir d'une analyse théorique (modélisation d'un déphaseur déséquilibré par un stub en court-circuit monté en série), que le mode différentiel et le mode commun sont fortement couplés sur une large plage de fréquences (et non uniquement à une fréquence de résonance). Le mécanisme physique fondamental de la conversion de mode est certes bien représenté par le modèle du déphaseur, mais des études plus générales seraient néanmoins souhaitables. Lorsque l'interrupteur mural est en position ouverte, la dérivation constitue un stub ouvert monté en série, qui ne peut pas être modélisé par un déphaseur. Or, dans l'analyse précitée, la branche fermée sur une ampoule à lumière froide de faible résistance (pas plus de quelques ohms) a été modélisée par un stub en court-circuit monté en série. Il y aurait donc lieu de réaliser une étude générale reposant à la fois sur des stubs en court-circuit et sur des stubs ouverts.

C'est justement l'objet de la présentation suivante, qui s'inspire d'une étude récente<sup>4</sup>.

#### A1.1 Matrice de répartition en mode mixte d'une ligne de transmission équilibrée et chargée unilatéralement par un stub en série

##### A1.1.1 Considérations théoriques

Des circuits constitués de stubs en série disposés unilatéralement ont été analysés d'un point de vue théorique. Un stub ouvert ou un stub en court-circuit composé d'une ligne de transmission équilibrée est monté en série sur l'une des branches d'une autre ligne de transmission équilibrée (voir la Fig. 6). Les matrices de répartition en mode mixte ont été calculées pour les deux configurations afin de mettre en évidence les différentes caractéristiques de conversion de mode.

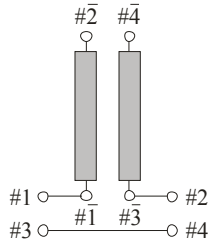
Les systèmes de courants porteurs en ligne (CPL) injectent des signaux RF dans le mode impair du réseau électrique réparti dans le bâtiment. Etant donné que les circuits de dérivation que constituent les plafonniers et les interrupteurs muraux unipolaires forment des stubs montés en série de façon unilatérale, cette analyse théorique permet de prévoir les problèmes de compatibilité CEM que peuvent causer les systèmes CPL fonctionnant dans les gammes d'ondes décamétriques et/ou métriques.

---

<sup>4</sup> M. KITAGAWA et T. OHIRA, «Mixed-mode scattering matrix of a balanced transmission line unilaterally loaded with a stub in series – Pencil-and-paper formulation», IEICE Tech. Rep. MW., juillet 2010.

FIGURE 6

Ligne de transmission équilibrée fermée unilatéralement sur un stub monté en série

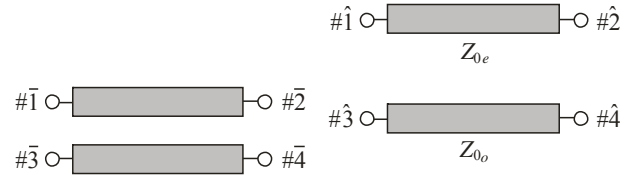


(a) stub en court-circuit monté en série (b) stub ouvert monté en série

Rapport SM.2212-06

FIGURE 7

Ligne de transmission équilibrée formant un stub



(a) lignes couplées (b) modes pair-impair

Rapport SM.2212-07

Les deux conducteurs d'une ligne de transmission équilibrée (Fig. 7 a)), qui forment un stub dans la Fig. 6, sont couplés. Le mode pair et le mode impair sont découplés et peuvent être traités indépendamment, comme le montre la Fig. 7 b). Ces deux modes ont respectivement pour matrice d'impédance:

$$\hat{\mathbf{Z}}_e = \frac{Z_{0e}}{j \sin \phi_e} \begin{bmatrix} \cos \phi_e & 1 \\ 1 & \cos \phi_e \end{bmatrix}, \quad \hat{\mathbf{Z}}_o = \frac{Z_{0o}}{j \sin \phi_o} \begin{bmatrix} \cos \phi_o & 1 \\ 1 & \cos \phi_o \end{bmatrix}$$

où  $Z_{0e}$  et  $Z_{0o}$  désignent les impédances caractéristiques des modes pair et impair,  $\phi_e$  et  $\phi_o$  les rotations de phase des modes pair et impair à travers le stub, c'est-à-dire  $\phi_e = \beta_e l$  et  $\phi_o = \beta_o l$  pour une ligne de transmission sans affaiblissement de longueur  $l$ . Dans le cas d'une ligne de transmission avec affaiblissement, ces valeurs sont remplacées par  $\phi_e = \beta_e l (1 - j\alpha_e/\beta_e)$  et  $\phi_o = \beta_o l (1 - j\alpha_o/\beta_o)$  pour des constantes de propagation données  $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$  et  $\gamma_o = \alpha_o + j\beta_o$ .

Les tensions et les intensités au niveau des terminaisons pour chaque mode de la Fig. 7 b) sont liées par les relations suivantes:

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_1 \\ \hat{v}_2 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_e \begin{bmatrix} \hat{i}_1 \\ \hat{i}_2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \hat{v}_3 \\ \hat{v}_4 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_o \begin{bmatrix} \hat{i}_3 \\ \hat{i}_4 \end{bmatrix}$$

La matrice de transformation entre une paire de terminaisons physiques en entrée (ou en sortie) (Fig. 7 a)) et les terminaisons de mode correspondantes (Fig. 7 b)) est donnée par:

$$\mathbf{C}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

La matrice de transformation entre toutes les terminaisons physiques et toutes les terminaisons de mode est donnée par:

$$\mathbf{C}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

La matrice d'impédance des terminaisons de mode de la ligne de transmission de la Fig. 7 b) est donnée par:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{TL} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{Z}}_e & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{Z}}_o \end{bmatrix}$$

Par conséquent, la matrice d'impédance des terminaisons physiques de la ligne de transmission de la Fig. 7 a) se calcule comme suit:

$$\mathbf{Z}_{TL} = \mathbf{C}_4 \hat{\mathbf{Z}}_{TL} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \\ z_{12} & z_{11} & z_{14} & z_{13} \\ z_{13} & z_{14} & z_{11} & z_{12} \\ z_{14} & z_{13} & z_{12} & z_{11} \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} z_{11} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{12} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e + Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \\ z_{13} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{14} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e - Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \end{aligned}$$

Dans le cas du stub en court-circuit de la Fig. 6 a), les conditions de terminaison sont données par les relations suivantes:

$$\bar{v}_4 = \bar{v}_2, \bar{i}_4 = -\bar{i}_2$$

D'où la relation entre les tensions et les intensités en entrée et en sortie:

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} - \star & z_{13} + \star \\ z_{13} + \star & z_{11} - \star \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}, \quad \star = -\frac{jZ_{0o}}{2 \cos \phi_o \sin \phi_o}$$

qui peut s'exprimer par la matrice d'impédance:

$$\mathbf{Z}_{ss} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o \end{bmatrix}.$$

Dans le cas du stub ouvert de la Fig. 6 b), les conditions de terminaison sont données par les relations suivantes:

$$\bar{i}_2 = \bar{i}_4 = 0$$

D'où la relation entre les tensions et les intensités en entrée et en sortie:

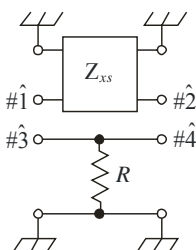
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{13} \\ z_{13} & z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}$$

qui peut s'exprimer par la matrice d'impédance:

$$\mathbf{Z}_{os} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o \end{bmatrix}$$

FIGURE 8

Analyse avec une résistance fictive montée en parallèle et reliée à la terre



Rapport SM.2212-08

Pour étudier une ligne de transmission fermée unilatéralement par un stub en série comme illustré à la Fig. 6, l'autre conducteur est relié à la terre par une résistance  $R$  (voir la Fig. 8). La matrice d'impédance du conducteur est alors donnée par la relation:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R & R \\ R & R \end{bmatrix}$$

et la matrice d'impédance de l'ensemble du circuit de la Fig. 8 par:

$$\mathbf{Z}_{xs4} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{xs} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix}$$

où l'indice  $x = o$  pour un stub ouvert et  $x = s$  pour un stub en court-circuit. Après transformation, on obtient la matrice d'impédance en mode mixte:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{xs} = \mathbf{C}_4 \mathbf{Z}_{xs4} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} \\ \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} \\ \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} \\ \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} \end{bmatrix}$$

La matrice de répartition en mode mixte du circuit fermé sur un stub en série illustré à la Fig. 6 est donnée par la limite:

$$\hat{\mathbf{S}} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} - \mathbf{1}_4}{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} + \mathbf{1}_4} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11} & \hat{s}_{12} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} \\ \hat{s}_{12} & \hat{s}_{11} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} \\ \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{33} & \hat{s}_{34} \\ \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{34} & \hat{s}_{33} \end{bmatrix}$$

où:

$$\hat{\mathbf{W}}_0 = \begin{bmatrix} W_e & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_o \end{bmatrix}$$

$W_e$  et  $W_o$  désignent les impédances de référence du mode pair et du mode impair respectivement, et  $\mathbf{1}_4$  la matrice identité de dimension 4.

### A1.1.2 Résultats

Les coefficients de la matrice de répartition en mode mixte d'une ligne de transmission chargée unilatéralement par un stub en série s'expriment comme suit:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{11} &= \frac{(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_o(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{12} &= \frac{2W_e[2W_o Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{W_e W_o}(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_e W_o \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{W_e W_o}[(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o - j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_e W_o \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{33} &= \frac{-(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_e(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{34} &= \frac{2W_o[2W_e Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \end{aligned}$$

où:

$S_{11} = S_{22}$	désignent les réflexions de mode pair
$S_{12} = S_{21}$	désignent les transmissions de mode pair
$S_{13} = S_{31} = S_{24} = S_{42}$	désignent les conversions de mode inverses
$S_{14} = S_{41} = S_{23} = S_{32}$	désignent les conversions de mode directes
$S_{33} = S_{44}$	désignent les réflexions de mode impair

$S_{34} = S_{43}$	désignent les transmissions de mode impair
$Z_{0e}$ et $Z_{0o}$	désignent les impédances caractéristiques des modes pair et impair
$\phi_e$ et $\phi_o$	désignent les rotations de phase des modes pair et impair
$W_e$ et $W_o$	désignent les impédances de référence des ports de mode pair et impair respectivement. Elles constituent les expressions les plus générales.

La matrice de répartition en mode mixte d'un stub ouvert monté en série s'obtient en remplaçant  $\phi_o$  par  $\phi_o + \pi/2$  dans les formules précédentes, sans modifier  $\phi_e$ . Par souci de concision, les expressions générales pour un stub ouvert monté en série ne sont donc pas indiquées.

Dans ce qui suit, les impédances de référence sont égales aux impédances caractéristiques, à savoir  $W_e = Z_{0e}$  et  $W_o = Z_{0o}$ , afin d'éviter les fausses réflexions au niveau des interfaces et les artefacts par résonance.

Dans ces conditions, les coefficients de la matrice de répartition en mode mixte d'un stub ouvert monté en série sont donnés par:

$$\begin{aligned}\hat{s}_{11} &= \frac{(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{12} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}Z_{0e} \sin(\phi_o - \phi_e)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}[(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e \sin \phi_o - jZ_{0e} \sin(\phi_e + \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{33} &= \frac{-(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{34} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]}\end{aligned}$$

Les expressions ci-dessus sont suffisamment générales pour s'appliquer lorsque les deux mêmes conducteurs sont utilisés à la fois pour le stub et pour les lignes de transmission qui l'entourent.

Les pertes de la ligne de transmission peuvent être prises en compte sous la forme de la partie imaginaire des rotations de phase. Par exemple, il est possible de tenir compte de la perte en mode pair en prenant  $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$  si la constante de propagation de ce mode est égale à  $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$ .

### Cas le plus simple

Si l'on pose  $Z_{0e} = Z_{0o}$  et  $\phi_e = \phi_o$ , les coefficients de la matrice de répartition d'un stub en court-circuit monté en série deviennent:

$$\begin{aligned}\hat{s}_{11} &= \hat{s}_{13} = \hat{s}_{33} = 0, \\ \hat{s}_{12} &= e^{-j\phi} \cos \phi, \\ \hat{s}_{14} &= -je^{-j\phi} \sin \phi\end{aligned}$$

formules qui correspondent à la description faite au § 2.1.4.3 du Rapport UIT-R SM.2158, qui repose sur le modèle du déphaseur simple. Etant donné que  $Z_{0e} = Z_{DM}/2$  et  $Z_{0o} = 2Z_{CM}$ , les conditions fixées ci-dessus coïncident avec  $Z_{CM} = Z_{DM}/4$ .

### Résultats numériques

Dans ce qui suit, divers exemples numériques sont calculés à partir des formules générales des stubs en court-circuit et des stubs ouverts montés en série afin d'étudier les effets des impédances caractéristiques, de la dispersion des modes (différences des vitesses de phase entre le mode pair et le mode impair) et/ou de l'affaiblissement. Dans les Fig. 9 à 14, l'axe horizontal correspond à la rotation de phase en mode impair  $\phi_o$  divisée par  $\pi$ . Au centre (0,5) de l'axe horizontal,  $\phi_o = \pi/2$ . Si la longueur du stub  $l$  correspond au quart de la longueur d'onde du mode impair à la fréquence  $f_0$ , alors  $\phi_o = \beta_o l = \pi f / 2f_0$ . Par conséquent, l'axe horizontal est vu comme  $f/2f_0$ , la fréquence  $f$  est normalisée par  $2f_0$  et le centre (0,5) représente  $f = f_0$ .

L'axe vertical correspond aux coefficients de la matrice de répartition en mode mixte en valeurs absolues. En ce qui concerne les conversions de mode au niveau du stub, seuls sont pertinents  $s_{13} = s_{31}$  (courbes rouges), qui représentent les diffusions intermodales directes, et  $s_{14} = s_{41}$  (courbes magenta), qui représentent les diffusions intermodales inverses. Les autres coefficients correspondent à des réflexions ou à des transmissions à l'intérieur du même mode.

FIGURE 9

Stub en court-circuit monté en série (sans pertes) avec diverses impédances caractéristiques

A noter que  $s_{13}=0$ ,  $|s_{11}|=|s_{33}|$  et  $|s_{12}|=|s_{34}|$  car  $\phi_e=\phi_o$

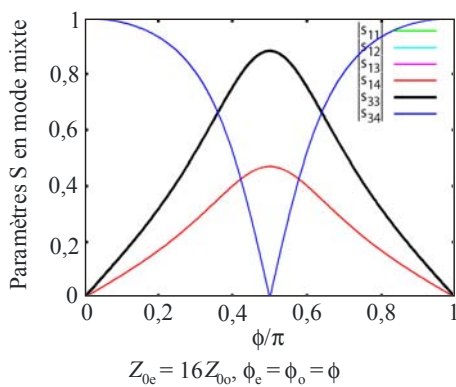
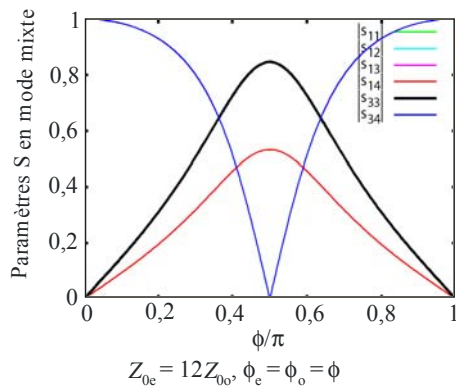
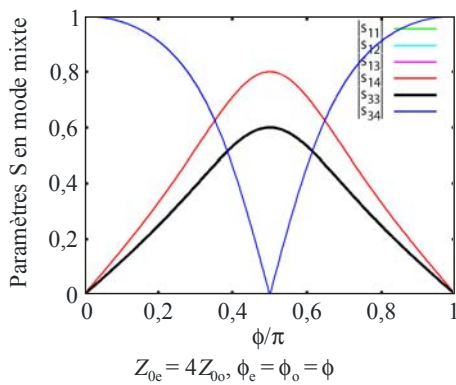
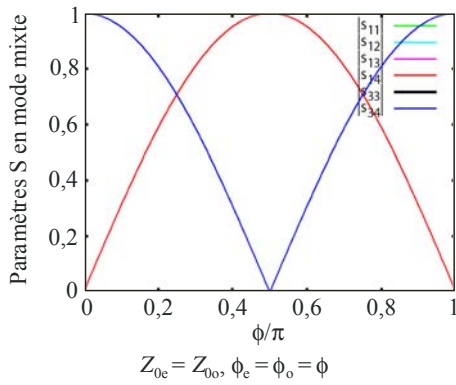


FIGURE 10

Stub ouvert monté en série (sans pertes) avec différentes impédances caractéristiques

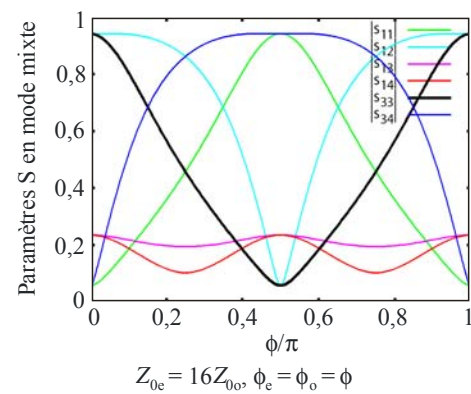
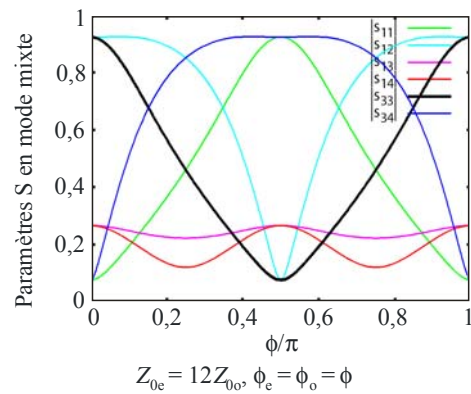
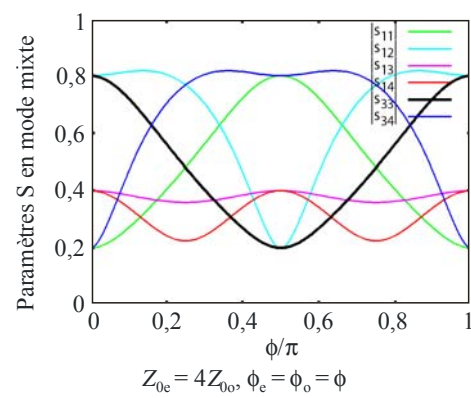
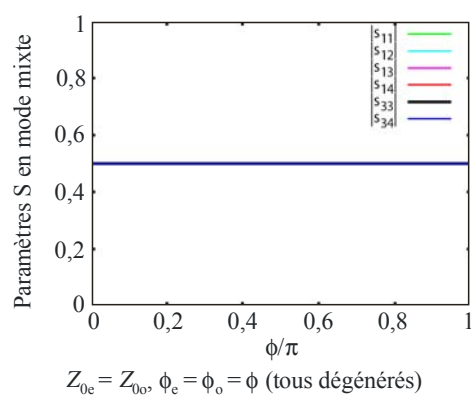
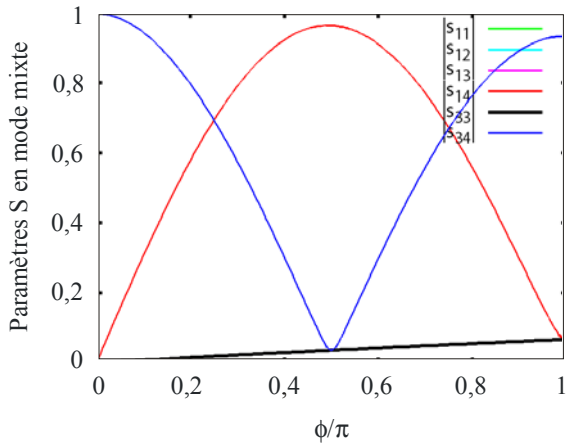
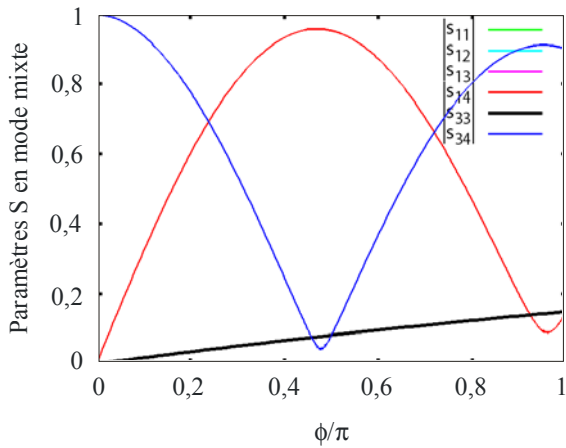


FIGURE 11

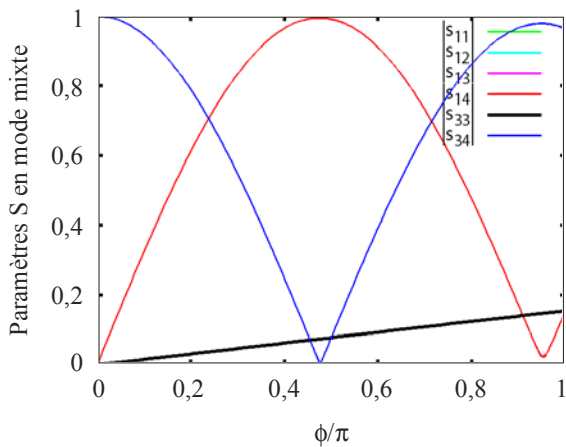
Stub en court-circuit monté en série avec dispersion de mode et/ou affaiblissement ( $Z_{0e}=Z_{0o}$ )



Mode pair avec pertes  $\phi_e = \phi_o = \phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



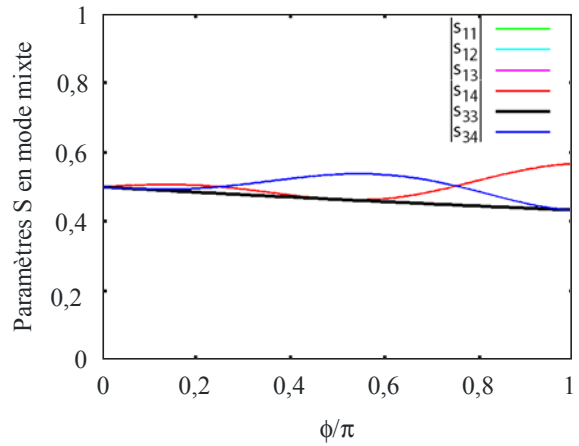
Dispersion des modes, mode pair avec pertes  
 $\phi_e = 1, \phi_o = 1, \alpha_e/\beta_e = 0,05$



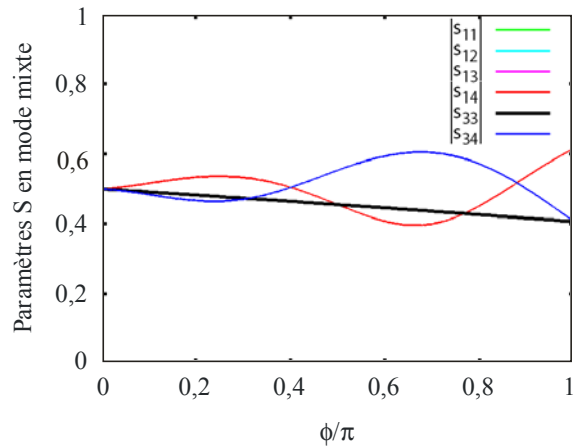
Dispersion des modes  $\phi_e = 1, \phi_o = 1, \phi$

FIGURE 12

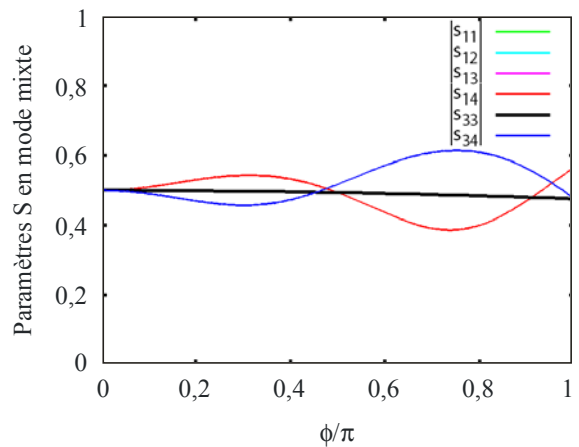
Stub ouvert monté en série avec dispersion de mode et/ou affaiblissement ( $Z_{0e}=Z_{0o}$ )



mode pair avec pertes  $\phi_e = \phi_o = \phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Dispersion des modes, mode pair avec pertes  
 $\phi_e = 1, \phi_o = 1, \alpha_e/\beta_e = 0,05$

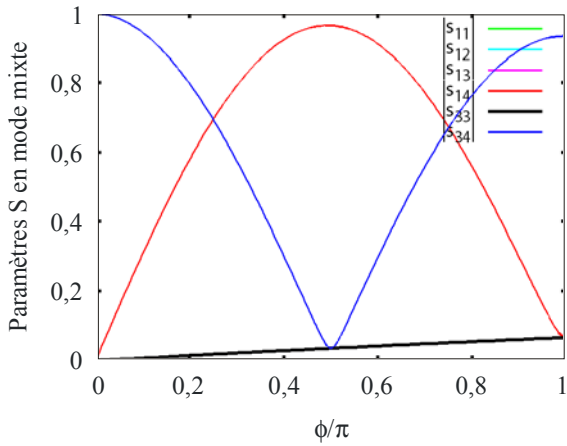


Dispersion des modes  $\phi_e = 1, \phi_o = 1, \phi$

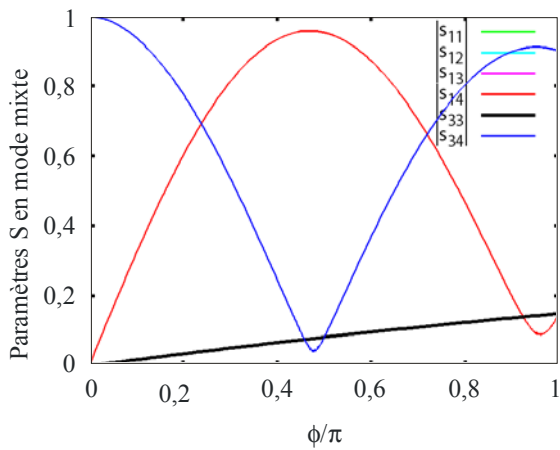


FIGURE 13

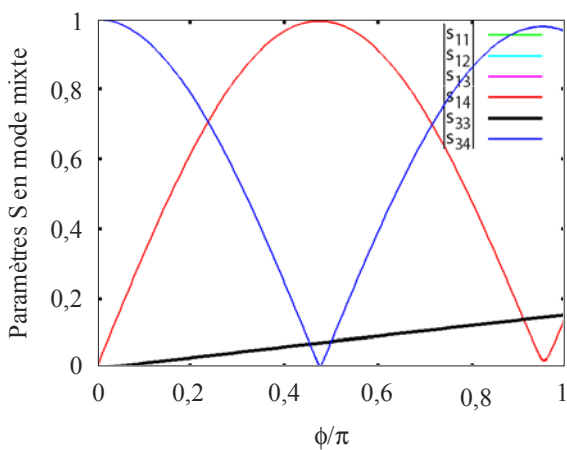
Stub en court-circuit monté en série avec dispersion de mode et/ou affaiblissement ( $Z_{0e} = 12Z_{0o}$ )



Mode pair avec pertes  $\phi_e = \phi_o = \phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



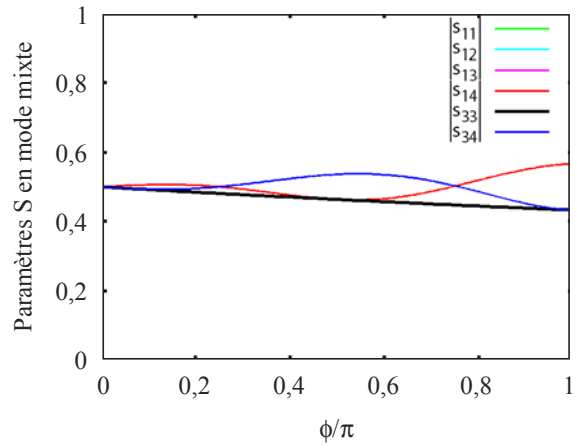
Dispersion des modes, mode pair avec pertes  
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



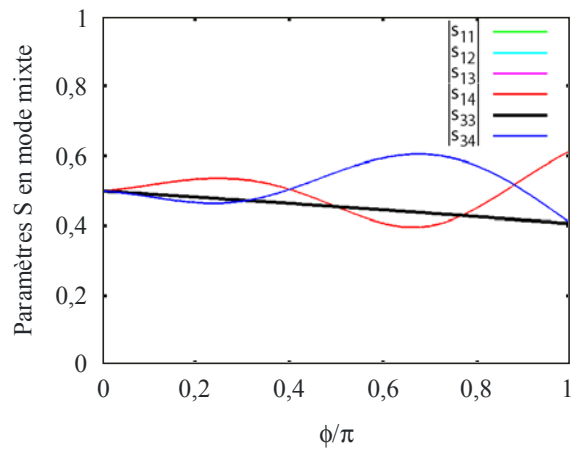
Dispersion des modes  $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

FIGURE 14

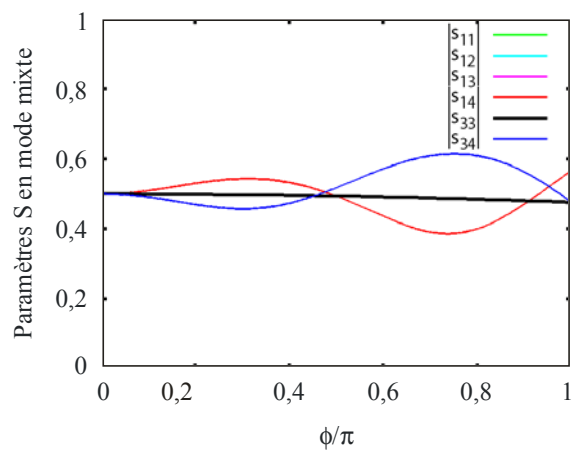
Stub ouvert monté en série avec dispersion de mode et/ou affaiblissement ( $Z_{0e} = 12Z_{0o}$ )



Mode pair avec pertes  $\phi_e = \phi_o = \phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Dispersion des modes, mode pair avec pertes  
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$ ,  $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Dispersion des modes  $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

### A1.1.3 Conclusions

Les expressions générales des coefficients de la matrice de répartition en mode mixte d'une ligne de transmission équilibrée chargée unilatéralement avec un stub monté en série ont été formulées. Il a été vérifié qu'on retrouve bien, dans le cas le plus simple de ces expressions générales, le modèle simplifié de type déphaseur unilatéral utilisé au § 2.1.4.3 du Rapport UIT-R SM.2158 pour représenter un stub en court-circuit monté en série. Les expressions générales donnant les coefficients de la matrice de répartition en mode mixte qui représentent les diffusions intermodales entre le mode pair et le mode impair ainsi que les calculs numériques effectués dans diverses conditions semblent indiquer que les modes pair et impair sont fortement couplés sur une large plage de fréquences et non uniquement aux fréquences pour lesquelles la longueur du stub correspond à un multiple du quart de longueur d'onde du mode impair.

Les résultats laissent penser que des courants de mode pair aussi importants que les courants des signaux de mode impair sont produits dans les câbles électriques des habitations, qui, en règle générale, contiennent autant de dérivations que de nombre de pièces, et que la densité spectrale de puissance du signal de mode impair doit être maintenue à un niveau aussi faible que celle du mode pair.

## Annexe 2

### **Analyses des risques de brouillages dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques**

#### **A2 Brouillages des systèmes radioélectriques fonctionnant dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques causés par les harmoniques des systèmes de télécommunication à courants porteurs en ligne fonctionnant dans les bandes d'ondes métriques entre 80 et 200 MHz**

Les besoins de protection des services radioélectriques fonctionnant au-dessous de 80 MHz contre les effets des systèmes CPL ont donné lieu à maintes analyses. Il semble en revanche que les effets des harmoniques produites par ces systèmes CPL sur les services radioélectriques fonctionnant dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques aient été jusqu'ici peu étudiés.

##### **A2.1 Systèmes radioélectriques domestiques**

De multiples systèmes radioélectriques fonctionnant à des fréquences comprises entre 88 et 800 MHz sont utilisés dans les environnements domestiques. Citons notamment la radio amateur, la radio et la télévision, la radiomessagerie, les alarmes personnelles pour personnes âgées ou handicapées, les systèmes de surveillance des implants médicaux et les systèmes de commande de ces implants.

Les intensités de champ requises varient considérablement selon les systèmes, de même que les niveaux d'émission susceptibles de causer des brouillages préjudiciables. D'autre part, il a été montré (Réf. 1) que l'intermodulation présente dans les réseaux électriques peut réduire la profondeur des coupures fréquentielles mises en œuvre dans les systèmes CPL et que la non-linéarité (effet du «boulon rouillé» par exemple) produit des harmoniques. Si les harmoniques

produites par les systèmes CPL fonctionnant à des fréquences inférieures à 200 MHz ne présentent vraisemblablement pas de problèmes particuliers au-dessus de 500 MHz environ, elles pourraient causer des brouillages préjudiciables aux systèmes fonctionnant à des fréquences inférieures.

Aussi les services d'amateur dans la bande des 220 MHz dans la Région 2 et les services d'amateur et d'amateur par satellite dans la bande des 432 MHz dans toutes les Régions risquent-ils d'être perturbés par ces harmoniques, sachant que la sensibilité de ces services descend jusqu'à des valeurs de l'ordre de  $-40$  dB( $\mu$ V/m). Cela étant, en règle générale, les antennes sont situées à l'extérieur des bâtiments, souvent à une certaine distance; il n'est donc pas déraisonnable de prendre pour hypothèse une distance de séparation de 10 m par rapport au réseau de distribution CPL. On suppose habituellement que l'affaiblissement dû aux murs est égal à 10 dB.

En règle générale, les champs émis par les services de radiodiffusion sont relativement importants, même en intérieur. Les usagers ont donc recours à des antennes de mauvaise qualité, souvent placées à l'intérieur des bâtiments et à proximité immédiate des câbles électriques, d'où un risque de brouillages relativement élevé.

Autre service susceptible d'être perturbé, celui des implants médicaux fonctionnant dans la bande 401-406 MHz conformément aux lignes directrices de la Recommandation UIT-R RS.1346. Ces dispositifs occupent une place de plus en plus importante dans le domaine de la cybersanté, compte tenu notamment des coûts liés à la prise en charge d'une population vieillissante. Ils fonctionnent à l'intérieur des bâtiments, à proximité immédiate des câbles électriques. En fait, les «programmeurs» (nom donné aux unités fixes) sont quasi systématiquement branchés sur le secteur et reçoivent donc via leur câble d'alimentation des niveaux élevés de signaux CPL (y compris des produits d'intermodulation et des harmoniques), qui transitent jusqu'à leurs antennes.

Pour éviter que le service bénéficiant d'une attribution à titre primaire (auxiliaires de la météorologie) ne soit brouillé, les normes de production de ces équipements exigent la mise en place d'un mécanisme perfectionné de type «écouter avant de parler» (par exemple EN301 839), selon lequel la transmission est interdite si un certain seuil (qui peut descendre jusqu'à  $+11$  dB( $\mu$ V/m)) est dépassé. Autrement dit, si les niveaux de brouillages provenant du système CPL dépassent ce seuil, le programmeur n'établit pas la communication avec l'implant. En outre, il est assez probable que le programmeur et les câbles électriques rayonnants soient espacés de 30 cm, d'où en principe une diminution de 30 dB par rapport au cas du service d'amateur. Cela étant, les systèmes de communication des implants médicaux ne pouvant tirer parti, comme les stations d'amateur, de l'affaiblissement éventuel par les murs ou par le diagramme de rayonnement d'une antenne, leurs critères de protection contre la puissance rayonnée par les CPL peuvent être considérés comme très proches de ceux requis par les services d'amateur.

Bien que les services de radiomessagerie par ondes métriques ne soient plus aussi populaires qu'avant, ils restent souvent moins coûteux que d'autres solutions (téléphones cellulaires par exemple) et sont donc toujours utilisés. Nombre d'entre eux fonctionnent dans la région des ondes métriques et sont donc exposés aux brouillages dans la fréquence fondamentale des équipements CPL fonctionnant à des fréquences inférieures à 200 MHz et dans leurs harmoniques.

Les alarmes personnelles fonctionnant dans la région des ondes métriques ou dans la bande des 400 MHz sont utilisées par les personnes âgées et les personnes handicapées, en particulier celles qui vivent seules ou dans des résidences protégées, pour appeler à l'aide en cas d'urgence. Les émetteurs souvent petits et légers (fréquemment portés autour du cou) et équipés de petites antennes de faible gain émettent avec une puissance de quelques milliwatts seulement. La sensibilité des récepteurs est donc nécessairement élevée. En cas de chute, l'antenne peut se trouver sous le corps de la personne, ce qui diminue sensiblement le niveau du signal émis. Là encore, le récepteur se trouve à proximité des câbles électriques et la puissance du signal reçu peut descendre à des valeurs très faibles (jusqu'à 0 dB( $\mu$ V/m)).

### **A2.1.1 Conclusion**

Les harmoniques et les produits d'intermodulation qui se trouvent à l'extérieur de la bande de fréquences opérationnelle d'un système CPL diminuent en principe avec la fréquence. Cela étant, l'entrée en résonance des cordons d'alimentation des équipements – et l'augmentation du champ local qui en résulte – a beaucoup plus de chances de se produire aux fréquences hautes qu'aux fréquences inférieures. Il a été montré que le niveau de protection requis par le service d'amateur et le service d'amateur par satellite dans les gammes des ondes métriques et décimétriques contre la fréquence fondamentale et les harmoniques des systèmes CPL est comparable au niveau de protection nécessaire au bon fonctionnement d'autres appareils que l'on trouve généralement dans l'environnement domestique et pour lesquels une panne de communication due à des brouillages préjudiciables causés par des rayonnements CPL pourrait avoir de graves conséquences.

### **A2.2 Compatibilité entre le service radioaéronautique et les appareils CPL de type Indoor dans la gamme des fréquences 30 MHz-380 MHz**

Pour la communication à large bande sur le réseau électrique alternatif basse tension et les installations de type Indoor, certains systèmes CPL utilisent des fréquences allant jusqu'à 300 MHz.

La présente analyse de compatibilité porte sur la protection des récepteurs aéroportés du service radioaéronautique fonctionnant dans la bande 30-380 MHz.

Le § A2.2.5.1 présente les critères de compatibilité applicables au niveau des récepteurs aéroportés des services aéronautiques utilisant la bande 80-380 MHz. Il résulte de l'application de ces critères un seuil de brouillages que les systèmes CPL ne doivent pas dépasser (voir le § A2.2.5.2). Pour savoir si ce seuil peut être respecté, la densité spectrale de puissance maximale, telle qu'elle est définie pour les différents systèmes CPL fonctionnant au-dessus de 30 MHz, a été convertie en intensité de puissance/de champ rayonnée par les bâtiments qui acheminent des communications CPL à large bande (voir le § A2.2.5.3). Le § A2.2.5.4 montre dans quelle mesure les systèmes CPL sont susceptibles de brouiller les récepteurs aéronautiques.

#### **A2.2.1 Analyse de compatibilité concernant les brouillages causés au système radioaéronautique**

En 2000, BNetzA a réalisé des mesures très complètes sur des signaux numériques acheminés par câble en vue de déterminer le «champ minimal désiré» nécessaire au bon fonctionnement des systèmes VHF COM, UHF COM, VOR, ILS LOS et VDL (Mode 2). Ces valeurs peuvent être converties en «champs maximum de brouillages admissibles au niveau du récepteur aéroporté» en appliquant le rapport C/I du système. Elles sont énumérées au Tableau 15.

TABLEAU 15

**Critères de compatibilité au niveau du récepteur aéroporté dans le cas de signaux MFOC mesurés à l'aide d'un détecteur de quasi-crête (QC) présentant une largeur de bande de 120 kHz**

	<b>Champ minimal désiré (dB(μV/m))</b>	<b>C/I (dB)</b>	<b>Champ de brouillage maximal admissible (dB(μV/m))</b>
VHF COM Espacement des canaux: 8,3 kHz 117,975-137 MHz	16	10	6
VHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 117,975-137 MHz	16	10	6
UHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 230-380 MHz	24	7	21
VOR Espacement des canaux: 40 kHz 108-117,975 MHz	39	13	26
ILS-LOC Espacement des canaux: 40 kHz 108,1-111,95 MHz	32	9	23
VDL Mode 2 118-138 MHz	39	9	30

### **A2.2.2 Calcul du seuil de brouillages des systèmes CPL découlant des critères applicables au service aéronautique**

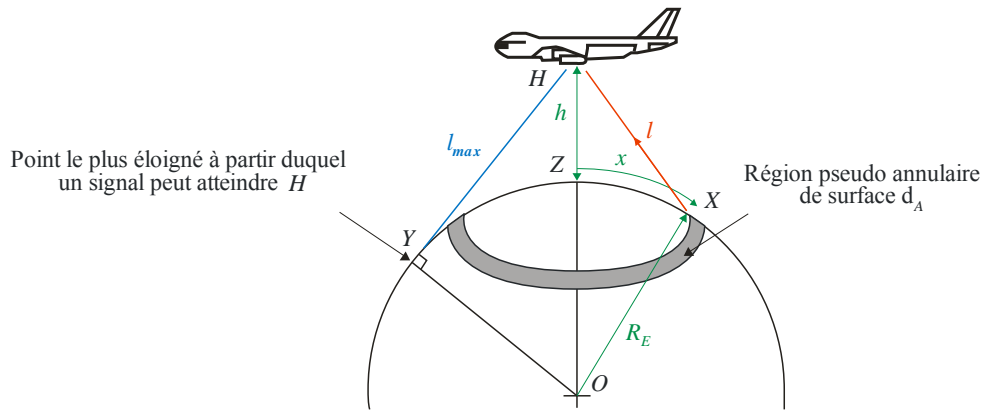
#### **A2.2.2.1 Modèle de compatibilité**

Pour évaluer les risques de brouillages causés par les effets cumulatifs des sources CPL aux récepteurs aéroportés, on utilise le modèle de compatibilité décrit à l'Annexe 7 du Rapport *ECC Rep 024*<sup>5</sup>. Ce modèle rend compte des effets cumulatifs d'une surface donnée de sources de brouillage en fonction de la densité de ces sources (sources de brouillage/km<sup>2</sup>). La configuration géométrique est illustrée à la Fig. 15. En raison de l'agrégation des brouillages, le récepteur situé dans l'aéronef voit une plus grande zone de bruit apparent.

<sup>5</sup> *ECC Report 024, PLT, DSL, Cable Communications (including Cable TV), LANs and their effect on Radio Services*, 2003, <http://www.erodocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4&alldata=1>.

FIGURE 15

Modèle utilisé pour déterminer les effets cumulatifs des brouillages



Rapport SML2212-1.5

Dans le cas d'un brouillage unique frappant directement le récepteur (propagation dans l'espace libre), la longueur du trajet  $l$  peut-être déterminée par:

$$f[x] = \frac{1}{4 \pi l^2}$$

$$l = \sqrt{R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2}$$

où les valeurs  $x$  et  $l$  sont physiquement contraintes par la courbure de la Terre:

$$x_{\max} = R_E \text{ArcCos}[R_E / (R_E + h)] \text{ et } l_{\max} = \sqrt{h(h + 2R_E)} \text{ respectivement}$$

$$f[x] = \frac{1}{4 \pi (R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)}$$

$$\text{PFD} = \frac{P_{\text{TX}} g_{\text{TX}} D R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)} dx$$

soit, pour la forme normalisée:

$$\text{PFD}_{\text{pour une densité de p.i.r.e. unitaire}} = \frac{R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{\left(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2\right)} dx$$

#### A2.2.2.2 Hypothèses

Les données statistiques de la ville de Berlin ont été utilisées pour illustrer les effets sur le récepteur aéroporté:

La ville a une superficie de 900 km<sup>2</sup>; la surface moyenne occupée par un bâtiment est de 1,16\*10<sup>-3</sup> km<sup>2</sup>. Etant donné que 40% de la zone est construite (360 km<sup>2</sup>), on compte 860 bâtiments/km<sup>2</sup>. Les bâtiments possèdent en moyenne 6 étages, soit 5 200 sources de brouillage/km<sup>2</sup>. L'hypothèse retenue étant que 10% des appartements sont équipés d'un accès internet à large bande par CPL, la densité est ramenée à 500 sources de brouillage/km<sup>2</sup>. Etant donné que les modems CPL ne sont pas tous utilisés en même temps, la densité des sources de brouillages est réduite de 50%. Autrement dit, la densité est d'environ 250 sources de brouillage/km<sup>2</sup> pour une ville comme Berlin.

### A2.2.2.3 Calculs

La densité de puissance surfacique autorisée,  $PF_D$ , au niveau du récepteur peut être calculée à partir des valeurs de champ de brouillage maximal admissible figurant au Tableau 15:

$$PF_D = \frac{E^2}{120\pi}$$

où:

$PF_D$ : puissance surfacique (W/m<sup>2</sup>)

$E$ : champ de brouillage maximal admissible (V/m).

La puissance rayonnée autorisée émise par une seule source de bruit CPL est obtenue à partir du modèle de compatibilité décrit au § A2.2.2.1:

$$h = 1 \text{ km} \quad R_E = 6\,371 \text{ km} \quad D = \frac{250}{\text{km}^2} \quad G_{TX} = 1,64 \text{ dBi}$$

$$P_{TX} := \frac{2 \cdot PF_D}{D \cdot R_E \cdot G_{TX} \int_{x_1}^{x_2(h)} \frac{\sin\left(\frac{x}{R_E}\right)}{\left[ R_E^2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{x}{R_E}\right) \cdot R_E \cdot (h + R_E) + (h + R_E)^2 \right]} dx}$$

$$p_{TX} := 10 \cdot \log\left(\frac{P_{TX}}{10^{-3} \text{ W}}\right)$$

$h$ : altitude de vol (km)

$R_E$ : rayon terrestre (km)

$G_{TX}$ : gain d'antenne d'une source isotrope (dBi)

$D$ : densité de sources de brouillage exprimée en sources de brouillage/km<sup>2</sup>

$PF_D$ : puissance surfacique (W/m<sup>2</sup>).

Les calculs ont également été effectués pour des altitudes de vol de 300 m, 1 000 m et 10 km. La différence entre le résultat à 300 m et le résultat à 10 km n'est que de 2 dB, ce qui signifie que l'altitude de vol n'est pas pertinente.

Les résultats obtenus pour une attitude de 1 km et une densité de 250 sources de brouillage/km<sup>2</sup> sont récapitulés dans le Tableau 16. Ce tableau contient le champ de brouillage maximal admissible tiré du Tableau 1, la puissance surfacique maximale calculée au niveau du récepteur aéroporté ainsi que la puissance rayonnée maximale admissible d'une seule source de bruit CPL au sol.

TABLEAU 16

**Puissance rayonnée maximale admissible d'une source de bruit CPL mesurée à l'aide d'un détecteur de quasi-crête (QC) présentant une largeur de bande de 120 kHz**

	<b>Champ brouilleur maximal admissible au niveau du récepteur aéroporté (dB(μV/m))</b>	<b>PFD Puissance surfacique maximale admissible au niveau du récepteur aéroporté (pW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>PTX Puissance rayonnée maximale admissible d'une source de bruit CPL</b>
VHF COM Espacement des canaux: 8,3 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	-80 dBm/10 dB(pW)
VHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	-80 dBm/10 dB(pW)
UHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 230-380 MHz	21	0,334	-65 dBm/25 dB(pW)
VOR Espacement des canaux: 40 kHz 108-117,975 MHz	26	1,056	-60 dBm/30 dB(pW)
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	-63 dBm/27 dB(pW)
VDL Mode 2 118-138 MHz	30	2,653	-56 dBm/34 dB(pW)

Les valeurs de la puissance rayonnée maximale admissible d'une source de bruit CPL varient selon les services entre 10 et 34 dB(pW).

### **A2.2.3 Calcul de la puissance surfacique résultant des limites fixées par les normes applicables aux systèmes CPL**

La densité spectrale de puissance maximale des équipements CPL utilisés pour les communications en intérieur est normalisée, notamment par l'UIT-T et l'IEEE.

TABLEAU 17

**Densité spectrale de puissance maximale fixée par différents organismes**

	<b>Densité spectrale de puissance maximale applicable aux équipements CPL au-dessus de 30 MHz</b>
Amendement 1 à la Rec. G.9960 de l'UIT-T	-85 dBm/Hz (valeur efficace)
Projet de norme P1901 de l'IEEE	-85 dBm/Hz (valeur moyenne)



Dans le cas de signaux de communication assimilables à du bruit, les lectures du récepteur de mesure obtenues à partir de différents détecteurs sont liées par les relations suivantes:

- |    |   |                          |
|----|---|--------------------------|
| a) | crête (C)                                 | 0 dB valeur de référence |
| b) | quasi-crête (QC)                          | -2 dB                    |
| c) | valeur efficace (écart quadratique moyen) | -10 dB                   |
| d) | valeur moyenne                            | -12 dB                   |

Le calcul suivant repose sur un niveau de DSP maximal à l'émission de -85 dB/Hz (efficace). On considère par hypothèse que la densité spectrale de puissance maximale est constante pour les fréquences supérieures à 30 MHz. La conversion en champ rayonné cumulé à 10 m du bâtiment (mesuré à l'aide d'un détecteur de crête) a été réalisée en suivant la même méthode (méthode des éléments finis). Dans l'hypothèse d'une antenne isotrope, le champ peut être converti en puissance à l'aide de la formule:

$$P_t = E + 20 \log d - 74,8$$

où:

- $E$ : intensité du champ dB( $\mu$ V/m)  
 $P_t$ : puissance (dBm)  
 $d$ : distance (km).

Les hypothèses utilisées au § A2.2.2.2 ont été reprises: densité de 250 sources de brouillage/km<sup>2</sup> et altitude de vol de 1 km.

TABLEAU 18

**Densité de puissance surfacique maximale au niveau du récepteur aéroporté**

Densité spectrale de puissance maximale applicable aux équipements CPL au-dessus de 30 MHz	Champ rayonné cumulé à 10 m du bâtiment	Puissance cumulée correspondant au champ rayonné	PFD Densité de puissance surfacique cumulée au niveau du récepteur aéroporté
-85 dBm/Hz (valeur efficace)	33 dB( $\mu$ V/m) (valeur de crête)	4 nW (valeur de crête)	3,903 pW/m <sup>2</sup> (valeur de crête)

Il ressort du Tableau 18 qu'un dispositif CPL présentant une densité spectrale de puissance maximale de -85 dBm/Hz (valeur efficace) émet un champ de 33 dB( $\mu$ V/m) mesuré à l'aide d'un détecteur de crête.

**A2.2.4 Comparaison entre le seuil de brouillage applicable aux récepteurs aéroportés et le niveau de brouillage causé par les systèmes CPL**

Le champ brouilleur maximal admissible et la densité de puissance surfacique maximale admissible au niveau du récepteur aéroporté figurent au Tableau 16. Le Tableau 18 fournit la valeur cumulée de densité de puissance surfacique correspondante, rayonnée par un système CPL et mesurée au niveau du récepteur aéroporté. Cette valeur est convertie en champ maximal rayonné mesuré au niveau du récepteur.

Dans le Tableau 19, le champ et la PFD admissibles (voir § A2.2.2) sont comparés aux valeurs de rayonnement (voir § 4). Pour faciliter la comparaison, les valeurs de crête utilisées dans le Tableau 18 (brouillages causés par les CPL) sont converties en valeurs de quasi-crête dans ce qui suit, par réduction de 2 dB.

TABLEAU 19

**Comparaison entre les valeurs de champ maximal admissible et les valeurs de champ rayonné cumulé au niveau du récepteur aéroporté et calcul de la marge de protection requise (tous les chiffres sont des valeurs de quasi-crête)**

	<b>Champ brouilleur maximal admissible (dB(μV/m))</b>	<b>Densité de puissance surfacique maximale admissible (pW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Champ rayonné cumulé (dB(μV/m))</b>	<b>Densité de puissance surfacique rayonnée cumulée (pW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Marge de protection requise (dB)</b>
VHF COM Espacement des canaux: 8,3 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	-24
VHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	-24
UHF COM Espacement des canaux: 25 kHz 230-380 MHz	21	0,334	30	2,512	-9
VOR Espacement des canaux: 40 kHz 108-117,975 MHz	26	1,056	30	2,512	-4
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	30	2,512	-7
VDL Mode 2 118-138 MHz	30	2,653	30	2,512	0

Les valeurs de la dernière colonne du Tableau 19 indiquent la marge qui est nécessaire pour réduire les brouillages causés par les dispositifs CPL. Dans l'hypothèse d'une densité spectrale de puissance maximale de ces dispositifs égale à -85 dBm/Hz (valeur efficace), une diminution de 24 dB serait nécessaire pour protéger les systèmes fonctionnant dans la bande des ondes métriques. La marge varie entre 0 et -24 dB en fonction du système considéré.

Ces calculs ont été réalisés pour une densité de sources de brouillage égale à 250 sources de brouillage/km<sup>2</sup>. La correction à appliquer est proportionnelle à la densité de sources de brouillage (voir également le Document 1A/157).

TABLEAU 20

## Valeur de correction en fonction de la densité de sources de brouillage

Densité de sources de brouillage (sources/km <sup>2</sup> )	Valeur de correction (dB)
50	7
100	4
150	2
200	1
250	0
300	-1

**A2.2.5 Conclusions**

Dans l'hypothèse d'une densité spectrale de puissance maximale des dispositifs CPL égale à -85 dBm/Hz (valeur efficace), valeur actuellement retenue par exemple dans la Recommandation G.9960 de l'UIT-T, tous les systèmes de radiocommunication aéronautique étudiés fonctionnant au-dessus de 80 MHz, à l'exception du VDL Mode 2, seraient brouillés par les systèmes CPL au niveau du récepteur aéroporté. Les systèmes concernés sont VHF COM, UHF COM, VOR et ILS LOC.

La marge nécessaire pour protéger les systèmes aéronautiques atteint 24 dB, valeur applicable à ceux fonctionnant dans la gamme des ondes métriques. Autrement dit, la densité spectrale de puissance maximale des CPL doit être réduite de cette marge.

**A2.3 Modèle d'agrégation CPL applicable aux systèmes de radiocommunication et de radionavigation des aéronefs**

Dans l'hypothèse de l'affaiblissement le long d'un trajet en espace libre, la perte de couplage minimale peut être traduite en distance de séparation minimale pour une source unique à l'aide de la forme suivante:

$$L_{bf} = 32,4 + 20\log(f) + 20\log(d)$$

où:

$L_{bf}$  = affaiblissement de propagation en espace libre (dB)

$f$  = fréquence (MHz)

$d$  = distance (km).

Pour agréger toutes les sources ponctuelles, il est possible d'utiliser la formule suivante:

$$A = \frac{W_{pire} \lambda^2 G_r \rho R_e}{16\pi(R_e + h)} \cdot \ln\left(\frac{2(R_e + h)H + h^2}{h^2}\right)$$

où:

$A$  = valeur moyenne des brouillages agrégés (watts par unité de largeur de bande)

$W_{pire}$  = valeur équivalente moyenne de la p.i.r.e. des dispositifs CPL (watts par unité de largeur de bande)

$\lambda$  = longueur d'onde (m)

$G_r$  = gain d'antenne du récepteur brouillé (dB)

- $\rho$  = densité moyenne d'émetteurs CPL (nombre d'émetteurs par m<sup>2</sup>)  
 $R_e$  = rayon équivalent de la Terre (m)  
 $R$  = rayon de la zone observée ou horizon radioélectrique  
 $h$  = hauteur de l'antenne de réception au-dessus du sol (m)  
 $H$  =  $R_e(1 - \cos(R/R_e))$ .

### Annexe 3

## Rayonnement radiofréquence provenant des systèmes CPL dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques

### A3 Rayonnement radiofréquence provenant des systèmes CPL dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques

La présente annexe traite de l'incidence sur les services de radiocommunication des rayonnements provenant des systèmes de télécommunication câblés, notamment les systèmes de télécommunication à courants porteurs en ligne (CPL), et des critères nécessaires pour protéger ces services. A l'origine, les systèmes CPL fonctionnaient à des fréquences inférieures à 30 MHz et émettait donc des rayonnements également dans cette gamme de fréquences. Il est malheureusement de plus en plus fréquent d'utiliser les câbles du réseau électrique pour transmettre des données à large bande. Or ces câbles ne sont généralement ni conçus ni construits pour transmettre des données à ces vitesses. Ils sont donc la source de rayonnements indirects. Tout récepteur de radiodiffusion situé à proximité d'un câble du réseau électrique acheminant des signaux CPL perçoit ces rayonnements comme une augmentation du bruit de fond, ce qui a une incidence sur sa capacité à détecter des signaux de faible intensité. Les mesures effectuées sur des dispositifs CPL montrent que ces rayonnements se produisent à des fréquences bien supérieures à 300 MHz. Ces résultats ainsi que les effets sur les services de radiocommunication sont résumés dans le présent Rapport.

La présente annexe vient compléter le Rapport en fournissant des informations sur des analyses, des essais en laboratoire, des essais sur le terrain et divers programmes de mesure qui figurent dans les Rapports UIT-R SM.2158 et UIT-R SM.2157.

#### A3.1 Mesures réalisées par l'Institut für Rundfunktechnik GmbH sur des modems CPL

La présente section fournit des informations techniques sur la qualité de fonctionnement et les caractéristiques de rayonnement de quelques systèmes CPL, notamment les résultats de mesures d'utilisation du spectre par des modems récents de télécommunication à courants porteurs en ligne (CPL) effectuées à l'Institut für Rundfunktechnik GmbH (IRT), institut central de recherche et développement des organisations de radiodiffusion publique en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Le but recherché est d'aider à l'évaluation des brouillages provenant de dispositifs CPL.

### A3.1.1 Présentation générale des mesures

Les deux technologies CPL d'ancienne génération utilisées en Europe jusqu'en 2010 fonctionnent dans les gammes de fréquences types 2-30 MHz (Homeplug AV) et 2-32 MHz (UPA). Un filtrage fréquentiel de type coupe-bande est utilisé pour réduire au minimum les brouillages des signaux situés dans les bandes de fréquences utilisées par les opérateurs du service radio amateur. De plus, la puissance d'émission dans diverses bandes de fréquences est réduite d'environ 30 dB pour limiter les brouillages occasionnés aux autres usagers de ces parties du spectre. Depuis fin 2009, on trouve sur le marché des adaptateurs permettant en théorie d'atteindre des vitesses de transmission brutes allant jusqu'à 1 Gbit/s (vitesse de crête). Contrairement à la norme Homeplug AV, à la Recommandation G.9960 (06/10) de l'UIT-T et à la norme IEEE-1901 (également appelée Homeplug AV2), ces adaptateurs utilisent une gamme de fréquences beaucoup plus étendue (de 2 MHz à 30 MHz et de 50 MHz à 305 MHz), qui englobe la bande II des ondes métriques (MF) ainsi que la bande III (DAB). Les mesures d'utilisation du spectre par ces technologies CPL, réalisées notamment à l'aide d'un exemplaire de la puce mediastream, tout dernier composant Gigabit de la société Gigle<sup>6</sup>, permettent de déterminer la qualité de fonctionnement dans des conditions réalistes de charge des câbles électriques ainsi que les éventuels niveaux de rayonnement. Il reste à préciser dans quelle mesure l'utilisation de ces adaptateurs CPL risque de brouiller les bandes de radiodiffusion ou d'avoir sur elles des effets indésirables.

### A3.1.2 Qualité de fonctionnement CPL

Les produits d'Allnet, de Devolo et de Zyxel utilisent le même jeu de puces INT6300 d'Intellon. Les produits d'AcBel et de Conceptronic utilisent, pour leur part, la puce DSS9010 de DS2. Pourtant, on peut observer des différences de qualité de fonctionnement. Les mesures montrent que les dispositifs de courants porteurs en ligne fonctionnant conformément au protocole TCP (protocole de commande de transmission) présentent tous une très bonne qualité de fonctionnement. Même à une distance de 22 m et pour différentes phases des courants, ces systèmes offrent des débits binaires compris entre 50 et 74 Mbit/s, qui, par exemple, permettent la diffusion en continu de deux signaux HD tout en ménageant une réserve suffisante pour d'autres types de communication à 10 Mbit/s. Les adaptateurs d'Allnet, de Devolo et de Zyxel ainsi que ceux d'AcBel et de Conceptronic offrent une vitesse de transmission maximale nominale de 200 Mbit/s, soit un débit binaire net maximal de 80 Mbit/s environ. Les adaptateurs HD CPL Gigabit<sup>7</sup> de Belkin équipés du jeu de puces mediastream de Gigle (GGL541) doivent être étudiés séparément, car ils sont les seuls à offrir une connexion réseau de type Gigabit et une vitesse de transmission maximale nominale de 1 000 Mbit/s. Dans des conditions de fonctionnement réel, le débit binaire net maximal peut être nettement inférieur. Cela dit, étant donné qu'il utilise des fréquences comprises entre 50 et 305 MHz, le jeu de puces GGL541 de Gigle offre un débit binaire nettement supérieur à celui des puces d'Intellon (2-30 MHz) et de DS2 (2-32 MHz), ce qui a pu être mesuré avec les adaptateurs de Belkin à une distance de 2,3 m par exemple. A des «distances plus courtes», la puce de Gigle surpasse les puces d'Intellon et de DS2 d'un facteur 3,5 en termes de qualité de fonctionnement. A 22 m, la performance des adaptateurs de Belkin se dégrade. A partir d'une longueur de câble de 10 m environ ou dans des conditions d'affaiblissement supérieur entre les deux adaptateurs, les dispositifs fonctionnent uniquement dans le mode Homeplug AV (bandes de fréquences inférieures: 2-30 MHz) et le débit binaire de 50 Mbit/s est alors d'environ 30% inférieur à celui des adaptateurs Intellon et DS2.

---

<sup>6</sup> En décembre 2010, Broadcomm a acquis la société Gigle Networks Inc.

<sup>7</sup> Les adaptateurs Gigabit Power line HD F5D4076 S v1, F5D4076 S v1 et MSI ePower 1000HD utilisent la puce GGL541 de Gigle et affichent des résultats de mesures analogues.

Des adaptateurs CPL mettant en œuvre la norme IEEE-1901 sont disponibles depuis décembre 2010. L'AR7400 d'Atheros<sup>8</sup> a été la première puce commercialisée compatible avec cette norme. Elle utilise une gamme de fréquences plus étendue (2-68 MHz) que la norme Homeplug AV (2-30 MHz), à l'exclusion des bandes de radio MF (76-108 MHz) et DAB (174-240 MHz), qui sont utilisées dans le monde entier. L'extension de la bande de fréquences et l'utilisation d'une méthode de modulation plus efficace (jusqu'à MAQ-4096) permettent aux produits CPL reposant sur la puce AR7440 d'atteindre des vitesses de communication binaires supérieures à 500 Mbit/s PHY (débit de crête). Plusieurs fabricants d'adaptateurs CPL très connus, notamment Netgear, Trendnet, TP-Link, Devolo, D-Link, AVM, Billion, MSI et Allnet, ont déjà annoncé ou commercialisé des dispositifs CPL compatibles avec la norme IEEE-1901.

Le Tableau 21 récapitule les paramètres techniques des adaptateurs CPL qui ont fait l'objet de mesures. Trois paires d'adaptateurs d'Allnet, Devolo et Zyxel mettant en œuvre la norme Homeplug AV ainsi que deux équipements UPA d'AcBel et Conceptronic ont été mis à l'essai. Par ailleurs, les adaptateurs CPL Gigabit de Belkin ont également été mesurés et les résultats ont été intégrés dans le tableau. Ce sont les seuls adaptateurs affichant une vitesse de transmission nominale maximale de 1 000 Mbit/s. Enfin, une paire d'adaptateurs Netgear affichant une vitesse de transmission nominale maximale de 500 Mbit/s a également été mise à l'essai.

TABLEAU 21

**Spécifications des adaptateurs CPL mis à l'essai**

Fabricant	Allnet	Devolo	Zyxel	Belkin	AcBel	Conceptronic	Netgear
Produit	ALL168203	dLAN 200 Avplus	PLA- 400 v2	Gigabit Power line HD	DH10PF	Homeplug 200 Mbit/s	Power line AV 500 XAVB5001
Norme	Homeplug AV			HPAV2 mediastream	UPA		IEEE-1901
Vitesse de transmission (nominale)	200 Mbit/s			1 000 Mbit/s	200 Mbit/s		500 Mbit/s
Fréquences	2-30 MHz			2-30 MHz 50-300 MHz	2-32 MHz		2-68 MHz
Protocoles	AMDP/AC			AMDP/AC AMRT MAC	AMRT MAC		
Modulation	MROF – 1 155 porteuses, MAQ-1 024/256/64, MDP-4, MDP-2				MROF – 1 536 porteuses		MROF – 4 096 porteuses

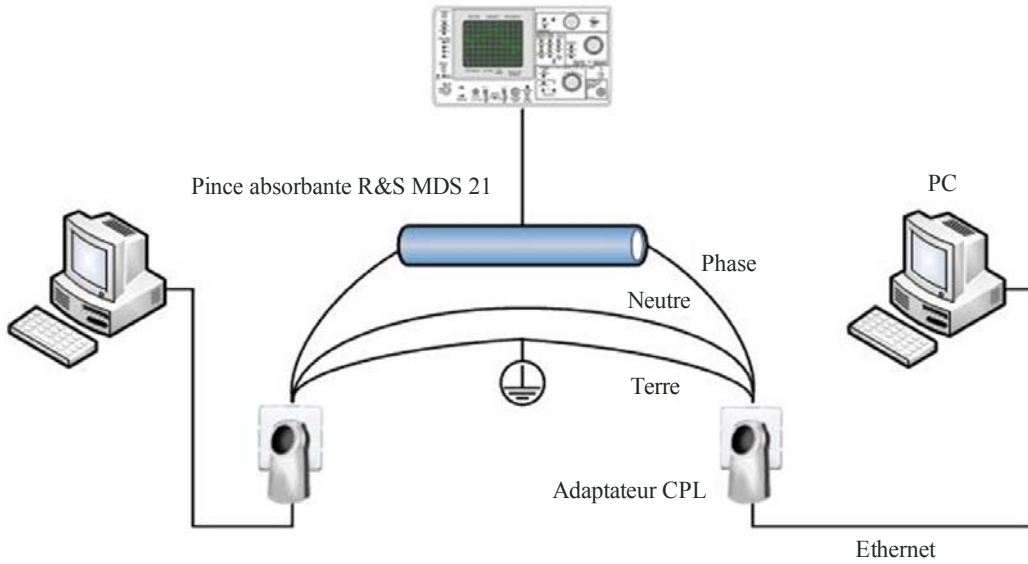
**A3.1.3 Mesures du spectre de fréquences**

Pour réaliser les mesures, l'un des conducteurs du câble électrique acheminant le trafic de données a été placé dans une pince absorbante MDS de la marque R&S et les autres conducteurs laissés à l'extérieur de la pince (voir la Fig. 16). Dans la gamme de fréquences 30-1 000 MHz, les spécifications de la pince indiquent un affaiblissement de 17 dB; cette valeur a donc été ajoutée au niveau mesuré afin de déterminer la valeur correcte d'ondes hautes fréquences présentes dans le câble. Pour couvrir l'ensemble des normes CPL, les mesures ont été effectuées sur des systèmes AcBel, Allnet et Belkin. Un transfert de données suffisant pour pousser les dispositifs à leur limite de fonctionnement a été effectué entre deux adaptateurs CPL identiques. Un analyseur de spectre

<sup>8</sup> Qualcomm a acquis Atheros après avoir acheté Intellon peu de temps auparavant.

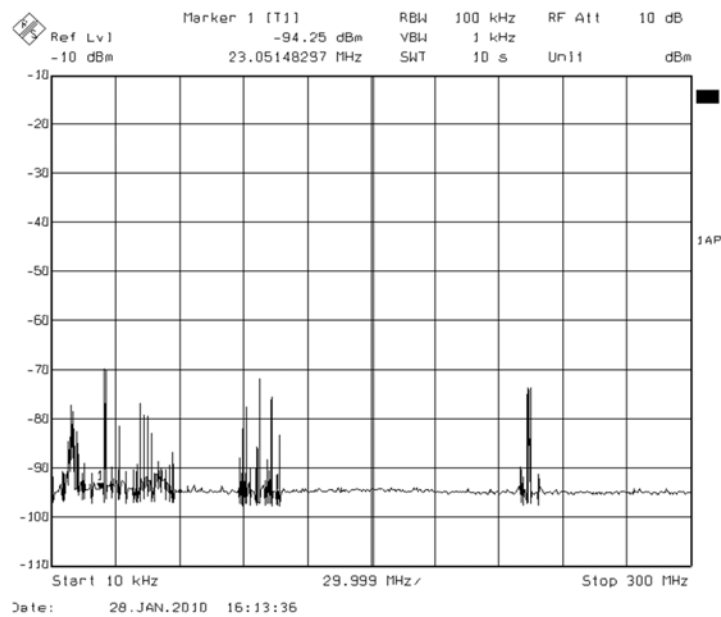
FSEA a été utilisé pour enregistrer le spectre de fréquences pendant la période active de mesure de la qualité de fonctionnement.

FIGURE 16  
 Configuration du système de mesure mettant en œuvre une pince absorbante  
 Analyseur de spectre FSEA (R&S)



Rapport SM.2212-16

FIGURE 17  
 Signaux et bruit ambiant visibles en fonctionnement (entre autres) au niveau du site de mesure:  
 OC, MF (87,5-108 MHz), DAB (environ 215 MHz)

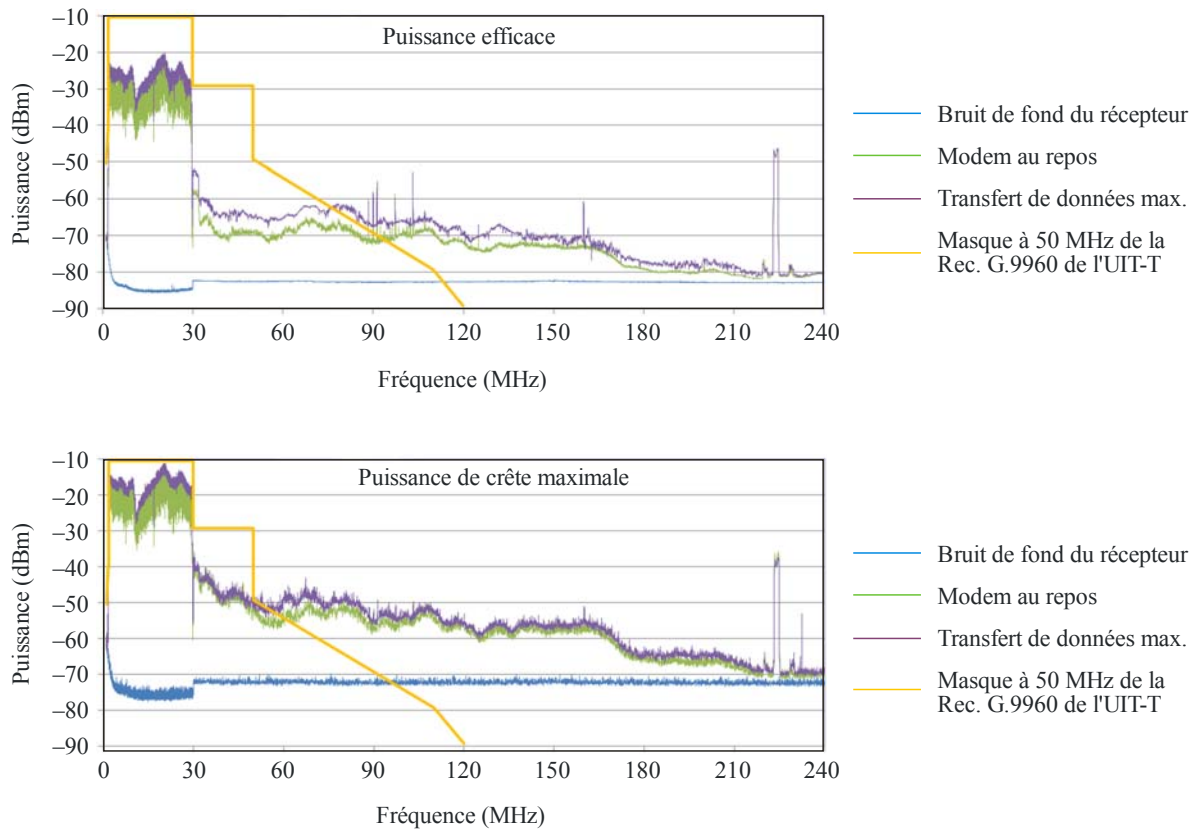


Rapport SM.2212-17

FIGURE 18

## Spectre de puissance de l'UPA d'AcBel en mode repos et à débit binaire maximal

UPA (AcBel DH10PF)



Rapport SM.2212-18

D'après le fabricant, les adaptateurs CPL conformes à la norme UPA utilisent la gamme de fréquences 2-32 MHz. Cela étant, l'analyse spectrale (Fig. 18) montre que l'UPA produit des composantes spectrales au-delà de 32 MHz jusqu'à quasiment 190 MHz, quoique nettement atténuées de 50 dB environ. Les niveaux relevés dans la plage de fonctionnement réelle sont d'environ -15 dBm (affaiblissement de la pince absorbante inclus).

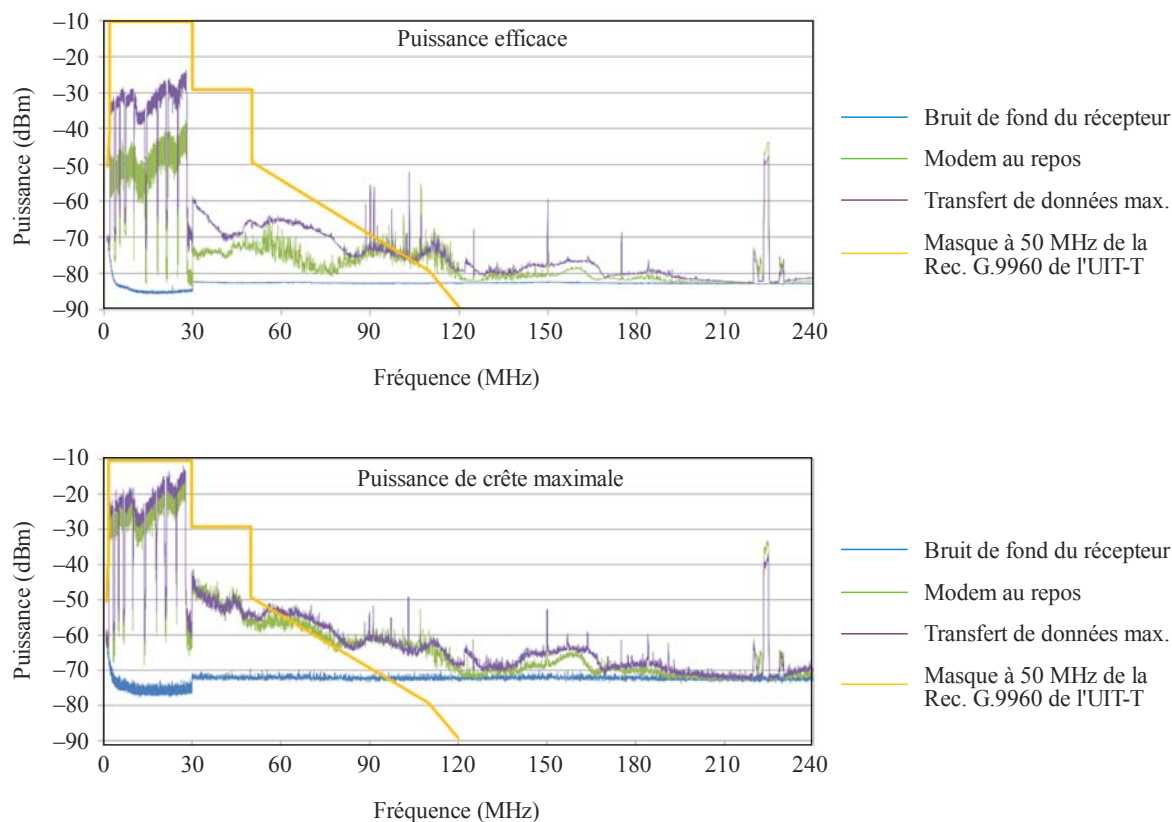
D'après le fabricant, les adaptateurs CPL conformes à la norme Homeplug AV utilisent la gamme de fréquences 2-30 MHz. Bien que les spécifications des systèmes Homeplug AV et UPA indiquent la même vitesse de transmission maximale de 200 Mbit/s, les spectres de fréquences sont différents. Dans la partie basse de la gamme de fréquences, les dispositifs Homeplug AV affichent des niveaux de puissance analogues à ceux des dispositifs UPA, mais leurs composantes spectrales hautes présentent des niveaux inférieurs (voir la Fig. 19). Ces composantes spectrales s'échelonnent jusqu'à 70 MHz environ.



FIGURE 19

## Spectre de puissance du dispositif Homeplug AV d'Allnet en mode repos et à débit binaire maximal

Homeplug AV (Allnet ALL 168203)

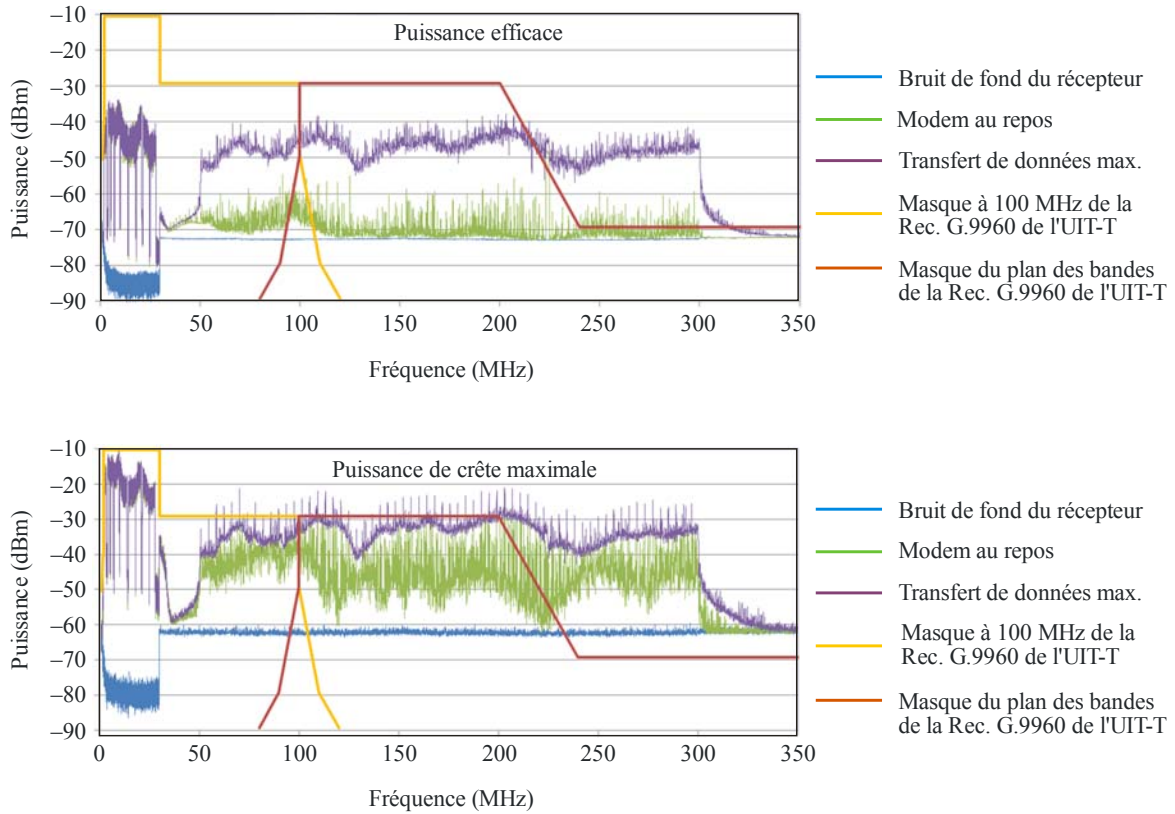


Rapport SM.2212-19

D'après le fabricant, les adaptateurs CPL équipés d'un jeu puces mediastream peuvent communiquer dans les gammes de fréquences 2-30 MHz (HPAV) et 50-300 MHz. Cela étant, l'utilisation simultanée des deux gammes n'est pas (encore) possible. Dans le cas d'un transfert de données mettant en œuvre plusieurs connexions TCP, il est clairement apparu que la communication entre les deux adaptateurs avait lieu dans la plage 50-305 MHz (bande supérieure) (voir la Fig. 20). Dans cette gamme de fréquences, les niveaux sont d'environ 25 à 30 dB inférieurs à ceux des systèmes commercialisés par AcBel et Devolo (2-30/32 MHz). Bien que la communication entre dispositifs CPL conformes à la norme mediastream s'effectue dans la bande supérieure, on observe aussi simultanément des composantes spectrales dans la bande inférieure.

FIGURE 20

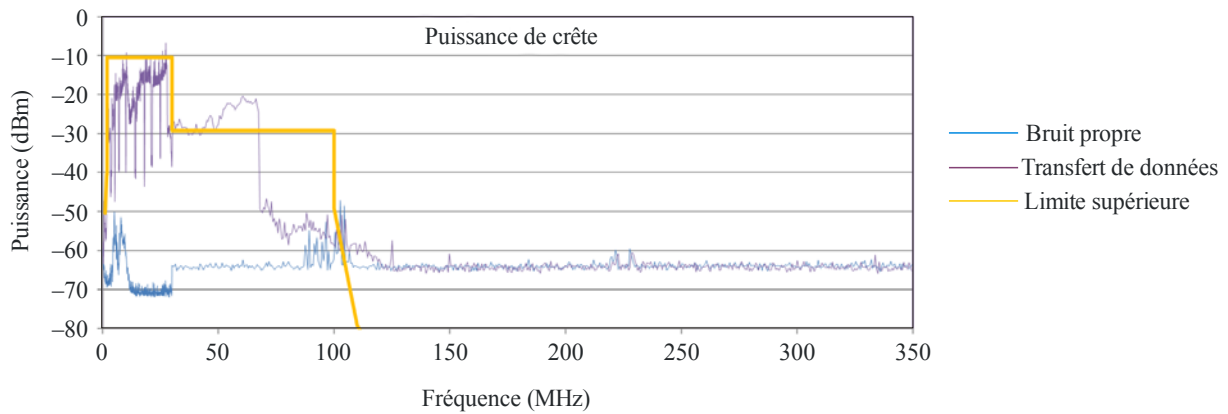
**Spectre de puissance de l'adaptateur Belkin en mode repos et à débit binaire maximal  
Mediastream – (Belkin gigabit power line HD)**



Rapport SM.2212-20

FIGURE 21

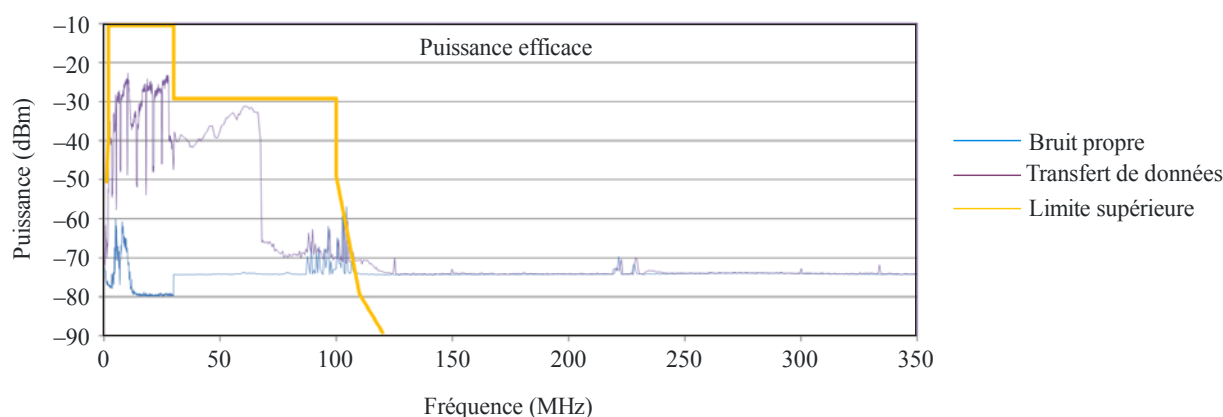
**Spectre de puissance de crête de l'adaptateur AV500 de Netgear pour un débit binaire maximal (dBm)  
La limite supérieure (jaune) correspond à la Rec. G.9960 de l'UIT-T**



Rapport SM.2212-21

FIGURE 22

Spectre de puissance efficace de l'adaptateur AV500 de Netgear pour un débit binaire maximal (dBm)



Rapport SM.2212-22

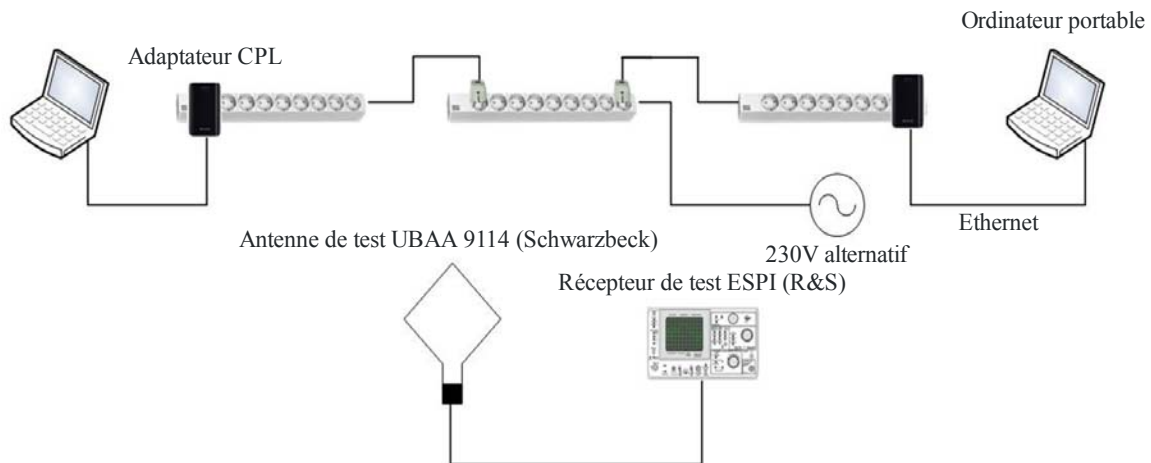
#### A3.1.4 Rayonnements perturbateurs provenant du modem CPL de Belkin «power line gigabit» F5D4076-S v1

Deux rallonges multiprises, chacune dotée d'un câble de 1,5 m de longueur, ont été connectées à gauche et à droite d'une autre rallonge multiprise branchée à une prise murale (230 V), de sorte que les deux premières étaient placées sur une table et séparées de 3 m (voir la configuration des mesures à la Fig. 23). Les modèles Belkin étaient branchés à la prise la plus extérieure et connectés chacun à un ordinateur portable. Des données ont ensuite été transmises à un débit net allant jusqu'à 250 Mbit/s (TCP) à l'aide du logiciel IxChariot. Une antenne Schwarzbeck UBAA 9114 a été placée à une distance de 3 m et une hauteur de 1,5 m. Les champs à polarisation horizontale et verticale ont été mesurés dans la gamme de fréquences 30-320 MHz. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un récepteur de test CEM ESPI de la marque R&S. Le récepteur de test a été configuré comme suit:

- Largeur de bande de mesure: 120 kHz;
- Pas de mesure: 40 kHz;
- Temps de mesure: 100 ms;
- Avec préamplificateur;
- Atténuation: 10 dB;
- Détecteurs de mesure: valeurs de crête et valeurs efficaces (écart quadratique moyen).

Le taux de conversion (facteur d'antenne) de l'antenne à large bande UBAA9114 a été saisi dans le récepteur sous la forme d'une table de valeurs en fonction de la fréquence de réception pour que les résultats des mesures soient directement enregistrés en dB( $\mu$ V/m). Deux séries de mesures ont permis d'enregistrer, pour chaque fréquence, la valeur de crête et la valeur efficace du champ. Il n'a pas été réalisé de mesures avec un détecteur de quasi-crête, car chaque mesure aurait nécessité de nombreuses heures. Au lieu de cela, le détecteur de quasi-crête a été utilisé intentionnellement pour reproduire les effets du brouillage impulsif sur l'oreille humaine pendant la réception d'un programme de radio analogique. A l'exception de la bande MF, le brouillage des fréquences supérieures à 30 MHz a une incidence sur les services numériques, incidence qu'il est plus facile de décrire avec des valeurs efficaces et des valeurs de crête.

FIGURE 23

**Configuration utilisée pour mesurer les rayonnements perturbateurs**

Rapport SM.2212-23

Les valeurs de champ suivantes ont été mesurées et enregistrées en polarisation horizontale et en polarisation verticale:

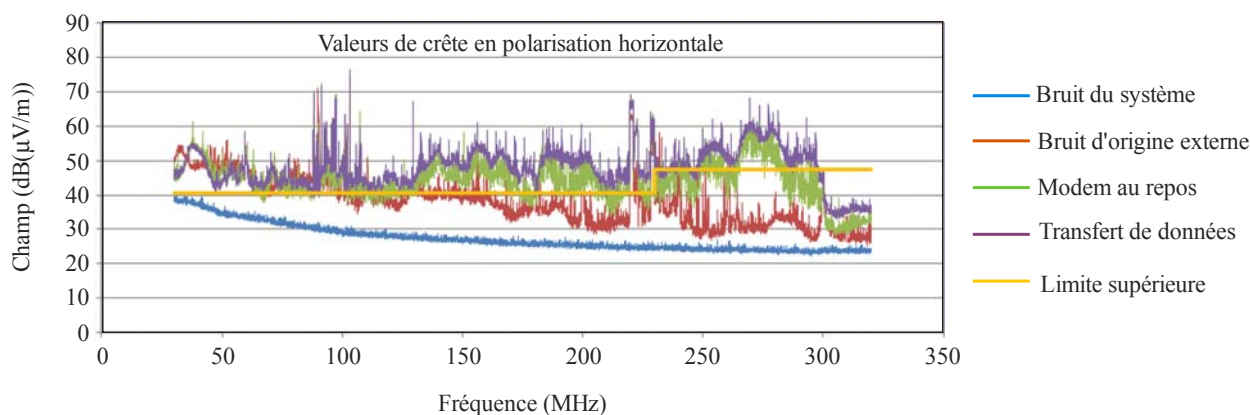
- Bruit du système de réception utilisé pour les mesures (référence inférieure du système de mesure);
- Bruit ambiant;
- Valeurs de brouillage lorsque les modems sont en mode repos;
- Valeurs de brouillage lorsque les modems échangent des données avec un débit binaire brut allant jusqu'à 250 Mbit/s.

Les limites indiquées au Tableau 6 de la norme EN 55022<sup>9</sup> sont prises comme valeurs supérieures de référence et reportées dans les figures suivantes. Les limites indiquées sont des valeurs de quasi-crête. Les valeurs de quasi-crête sont généralement inférieures aux valeurs de crête, mais, dans tous les cas, supérieures aux valeurs efficaces.

<sup>9</sup> CENELEC EN 55022:2006; Appareils de traitement de l'information – Caractéristiques des perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure (CISPR 22: 2005 (modifié)).

### A3.1.5 Champ à polarisation horizontale

FIGURE 24

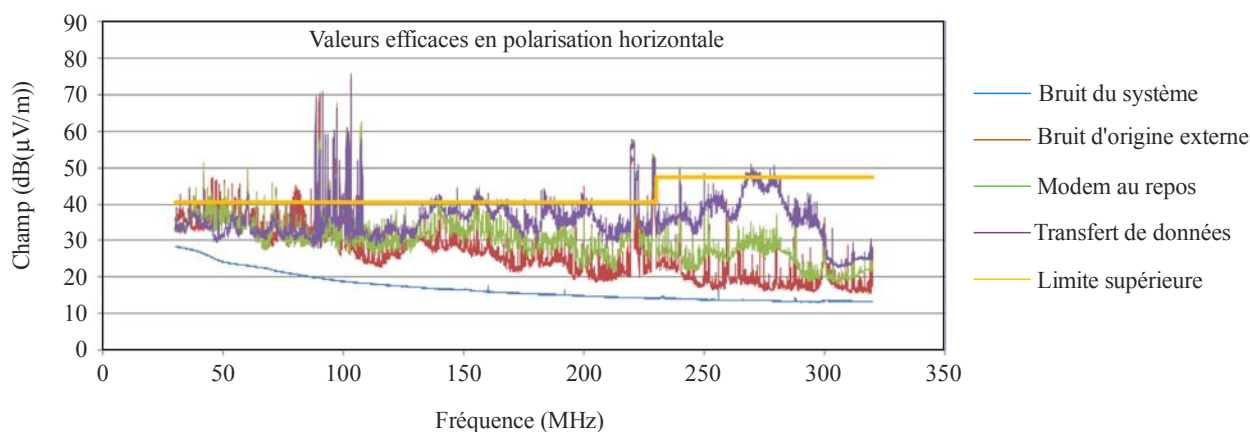
Valeurs de crête du champ à polarisation horizontale (dB( $\mu$ V/m))

Rapport SM.2212-24

La courbe bleue de la Fig. 24 représente la plus faible valeur de champ mesurable, qui est égale au bruit du système de réception utilisé pour la mesure. La courbe rouge représente le bruit ambiant (bruit artificiel) en l'absence des modems. Etant donné que les mesures ont été réalisées à l'IRT, en présence de nombreux systèmes électriques et électroniques en fonctionnement, le bruit ambiant est relativement élevé (courbe rouge); aux fréquences inférieures à 150 MHz, il se situe même au-dessus de la courbe des valeurs limites supérieures. Les valeurs de crête du champ dans la plage 87,5-108 MHz correspondent aux signaux MF et celles situées au voisinage de 220 et 229 MHz aux signaux DAB qui peuvent être reçus à l'IRT.

Comme l'indique le tracé vert, le champ brouilleur augmente lorsque les modems sont allumés. Pendant le transfert des données, il augmente encore (tracé violet). Au-dessus de 130 MHz, le niveau du champ brouilleur causé par les modems est de quelques dB supérieur au bruit ambiant, ce qui signifie que les valeurs mesurées sont correctes. Les valeurs de crête des brouillages causés par le modem pendant le transfert de données et en mode repos dépassent les valeurs limites d'environ 20 dB maximum.

FIGURE 25

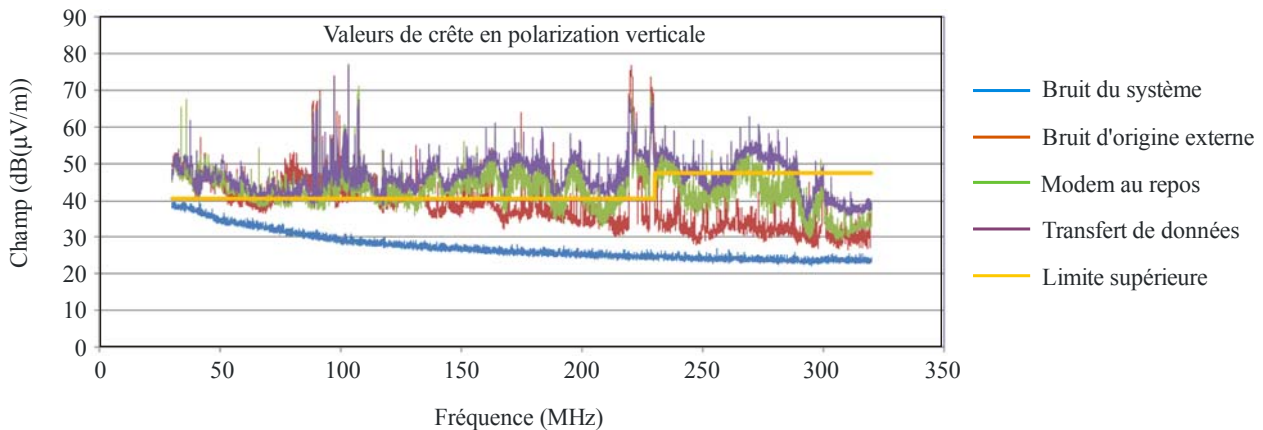
Valeurs efficaces (écart quadratique moyen) du champ à polarisation horizontale (dB( $\mu$ V/m))

Rapport SM.2212-25

A la Fig. 25, en ce qui concerne les brouillages permanents, notamment le bruit système du récepteur de test (bleu) et les brouillages causés par les modems en fonctionnement (violet), les valeurs efficaces sont de 10 dB environ inférieures aux valeurs de crête correspondantes. Les brouillages des modems en mode repos sont pulsés, ce qui explique pourquoi la différence entre les valeurs de crête et les valeurs efficaces a augmenté (courbe verte). Les valeurs efficaces des brouillages des modems pendant le transfert de données sont également en partie au-dessus de la limite.

### A3.1.6 Champ à polarisation verticale

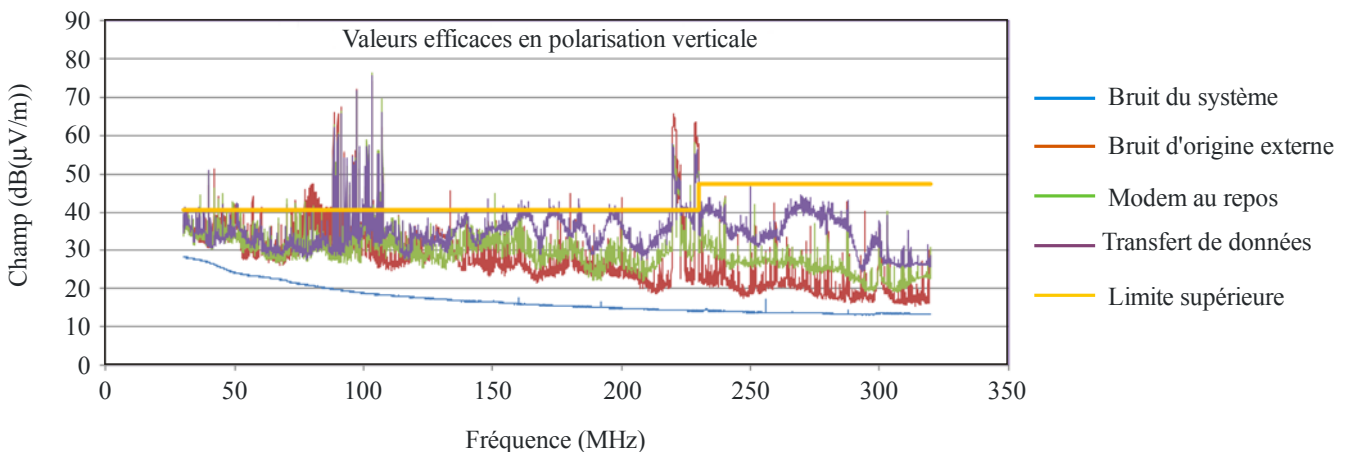
FIGURE 26

Valeurs de crête du champ à polarisation verticale (dB( $\mu$ V/m))

Rapport SM.2212-26

Les remarques concernant la Fig. 24 s'appliquent aussi aux valeurs de champ de la Fig. 26. Les pics des signaux DAB à 220 MHz et 229 MHz sont plus élevés car ces signaux sont transmis en polarisation verticale. Pendant le transfert des données ainsi qu'en mode repos, les valeurs de crête du champ brouilleur causé par le modem dépassent les valeurs limites sur la totalité de la gamme de fréquences.

FIGURE 27

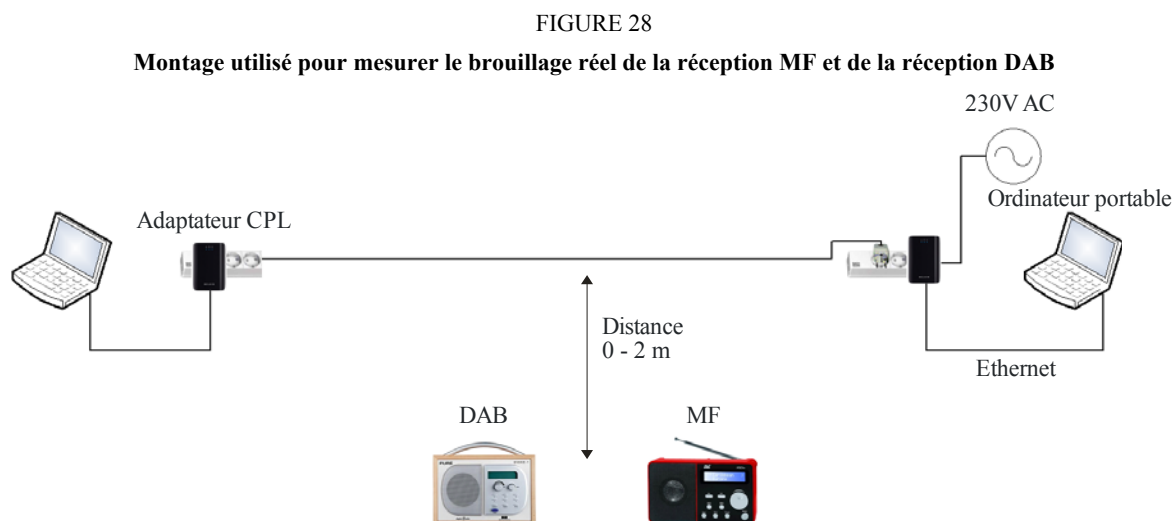
Valeurs efficaces (écart quadratique moyen) du champ à polarisation verticale (dB( $\mu$ V/m))

Rapport SM.2212-27

Les remarques concernant la Fig. 25 s'appliquent aussi à la Fig. 27. Les valeurs efficaces des brouillages causés par le modem pendant le transfert de données atteignent les limites dans la plage 30-200 MHz et les valeurs de quasi-crête sont supérieures à ces limites quel que soit le débit.

### A3.1.7 Brouillage réel de la réception MF et de la réception DAB

Pour évaluer si les parties mesurées du spectre des adaptateurs mettant en œuvre la norme mediastream ont une incidence sur la réception MF et/ou DAB, un montage d'essai simple dans un environnement de travail «normal» a été réalisé à l'IRT. Ce montage simule la réception dans une maison ou un appartement privé (voir la Fig. 28).



Rapport SM.2212-28

Chaque adaptateur Belkin de type F5D4076 était branché sur une multiprise à trois entrées. Le cordon d'alimentation de l'une des multiprises, d'une longueur de 3 m, était disposé à hauteur de la table, le long d'un mur latéral. Une radio MF (DNT) et une radio DAB (PURE) étaient posées sur la table devant le câble. Pendant les mesures, les radios ont été placées à différentes distances du câble, entre 0 et 2 m, de façon à étudier les brouillages dans diverses configurations.

A chaque étape, la radio MF, puis la radio DAB, a été positionnée sur «volume fort», pendant que le flux de données produit par le logiciel IxChariot (250 Mbit/s) était en permanence activé et désactivé via la ligne d'alimentation.

Les radios étaient placées à proximité (environ 1 m) d'une grande fenêtre de façon à assurer une «bonne» réception.

#### Résultats du test MF

Lorsque la radio était réglée sur une station locale de forte puissance (Bayern3, Bayern5, bande II 100 MHz), il n'a pas été détecté de brouillages subjectifs pendant la période d'activité des adaptateurs CPL. En revanche, lors de la réception d'une station de faible puissance (Ö3), un bruit additif provenant des haut-parleurs a été clairement détecté pendant la période d'activité CPL jusqu'à une distance d'environ 1 m entre la radio et le câble électrique équilibré. A des distances supérieures, aucun brouillage n'était audible.

## Résultats du test DAB

Les brouillages audibles pendant la réception DAB (par exemple, Bayern3, bande III 220 MHz) étaient beaucoup plus gênants. Pendant la période d'activité CPL, ils étaient présents même dans le cas des stations présentant de bonnes conditions de réception, jusqu'à une distance de 1,5 m entre la radio et le câble de transmission des données. Plusieurs types de brouillages étaient audibles: gazouillements, battements, voire interruption «complète» du signal audio.

Ils ne cessaient qu'au-delà de 1,5 m.

### A3.1.8 Conclusions relatives aux mesures effectuées à l'IRT

Les mesures de spectre réalisées sur les adaptateurs CPL «Power line Gigabit» F5D4076 S de Belkin montrent une occupation des fréquences jusqu'à 305 MHz, ce qui comprend les bandes MF et DAB. D'un autre côté, les mesures indiquent que les brouillages dus aux modems sont plus élevés que ceux qu'autorise la norme EN 55022 dans la gamme de fréquences 30-300 MHz.

Il convient de noter que ces essais ont été réalisés avec un câble électrique relativement symétrique, ce qui signifie que les résultats ne sont pas représentatifs du cas le plus défavorable.

Il serait possible d'envisager l'utilisation de filtres coupe-bande pour protéger les bandes de fréquences concernées. Le fabricant de la puce mediastream, Gigele, a déjà proposé de prendre de telles mesures pour répondre à d'éventuelles réactions qui seraient justifiées.

### A3.2 Mesures réalisées sur des modems CPL par le Centre de recherche sur les communications (Canada)

Le Centre de recherche sur les communications (CRC, Canada) a évalué huit dispositifs CPL commercialisés, faciles à se procurer aux Etats-Unis, au Canada et au Japon, et représentant les différentes normes CPL connues. Le détail et les résultats des mesures réalisées lors de ces essais figurent dans le rapport *Measurements of EM radiation from in-house Power line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment – Field Test Report* (Mesures des rayonnements électromagnétiques provenant de dispositifs CPL en intérieur fonctionnant dans un environnement résidentiel – Rapport d'essais sur le terrain), Centre de recherche sur les communications (Canada), 24 mars 2009, disponible à l'adresse <http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf> ou en pièce jointe à l'Annexe du Document 6A/160.

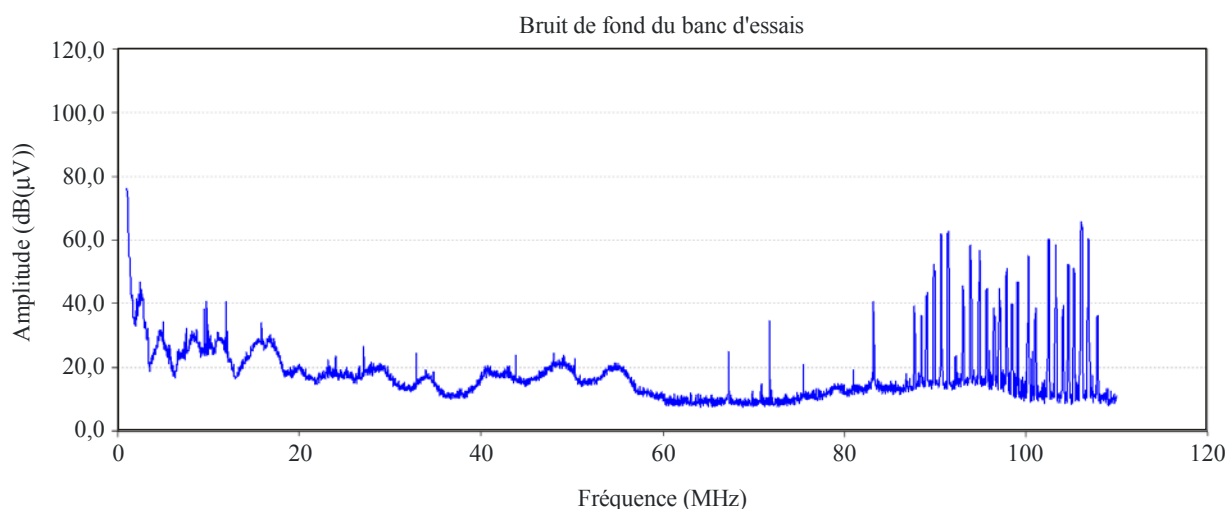
Un résumé de cette étude figure dans le Rapport UIT-R SM.2158. Les essais comprenaient des mesures à des fréquences allant jusqu'à 110 MHz, l'objectif étant de déterminer les effets des dispositifs CPL sur la bande MF.

#### A3.2.1 Procédure adoptée par le CRC pour les mesures et résultats concernant les émissions transmises par conduction

La mesure du bruit de fond du banc d'essais entre 50 kHz et 110 MHz est présentée à la Fig. 29. On voit que les lignes électriques dans la configuration de l'essai se sont comportées comme une antenne capturant les signaux d'autres systèmes de radiocommunication. Les raies situées entre 85 et 108 MHz proviennent ainsi de stations de radio MF locales. Les autres raies, à d'autres fréquences, étaient intermittentes et probablement dues à d'autres systèmes de radiocommunication. Lors de l'analyse des résultats concernant les émissions transmises par conduction, il a fallu tenir compte de ces raies de résonance.



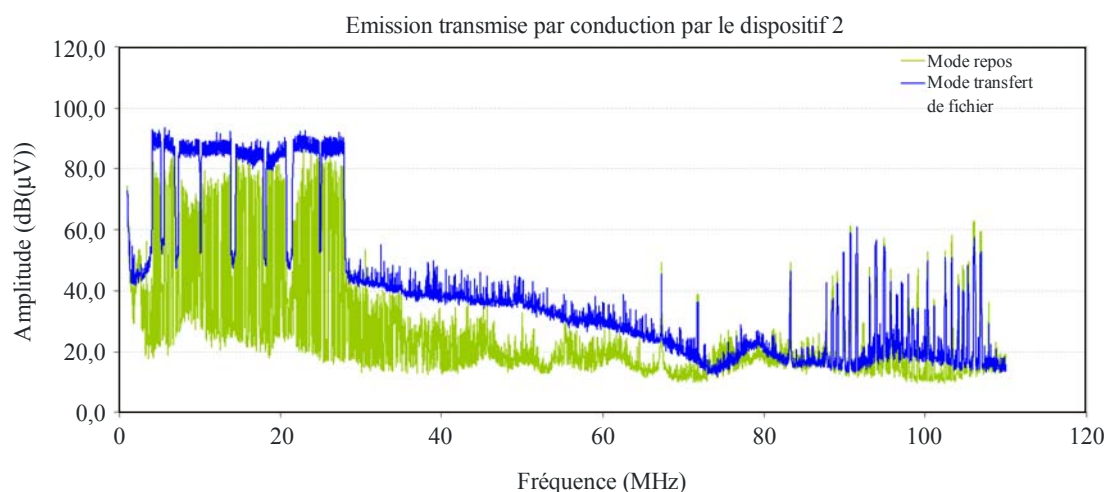
FIGURE 29

**Bruit de fond du banc d'essais utilisé pour les mesures des signaux transmis par conduction**

Rapport SM2212-29

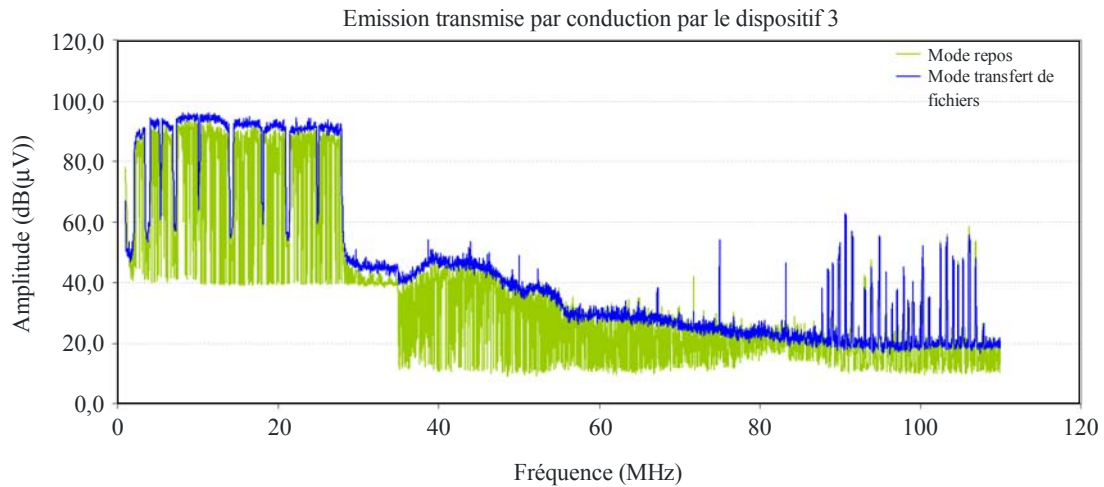
Les résultats obtenus pour les dispositifs CPL 2, 3 et 6 sont présentés aux Fig. 30, 31 et 32 respectivement. La courbe bleue correspond au signal transmis par conduction pendant un transfert de données et la courbe verte (généralement, le tracé inférieur) le signal transmis par conduction en mode repos. Comme le montrent les figures, le niveau de signal en mode repos ne dépasse pas le niveau de signal en mode transfert de données. Par ailleurs, les dispositifs à l'essai ne se comportent pas de la même façon en mode repos: les dispositifs 2 et 3 émettent de temps à autre des porteuses pour maintenir le canal ouvert et synchronisé, alors que le dispositif 6 émet en permanence dans la totalité de sa largeur de bande.

FIGURE 30

**Puissance transmise par conduction par le dispositif 2 (norme HD-PLC)**

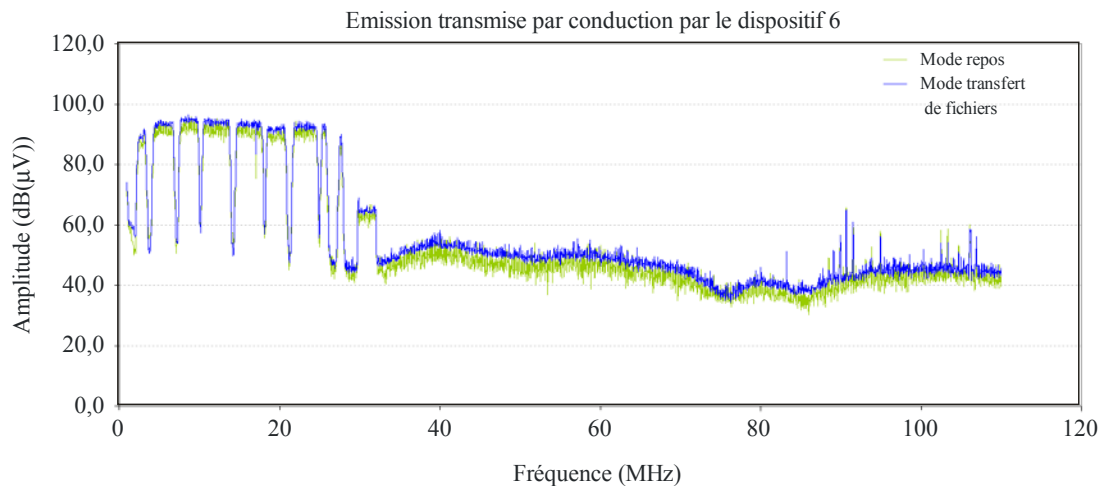
Rapport SM2212-30

FIGURE 31

**Puissance transmise par conduction par le dispositif 3 (norme Homeplug AV)**

Rapport SM.2212-31

FIGURE 32

**Puissance transmise par conduction par le dispositif 6 (norme UPA)**

Rapport SM.2212-32

**A3.2.2 Conclusions relatives aux mesures effectuées au CRC**

Ces résultats le montrent, même lorsque le dispositif CPL ne transmet pas de données, il émet des rayonnements. On observe également que, même si le dispositif CPL fonctionne à des fréquences inférieures à 30 MHz, il produit des rayonnements jusqu'à 110 MHz, qui sont supérieurs d'au moins 20 dB au bruit de fond.

**A3.3 Mesures réalisées sur un modem CPL «Gigabit» par CBS Broadcasting et National Public Radio**

CBS Broadcasting et National Public Radio (NPR) ont réalisé une série de mesures dans les laboratoires NPR Labs analogues à celles effectuées par l'IRT (voir le § A3.1). Les mesures de rayonnements par conduction ont été faites sur une paire de modems CPL de type «Gigabit Power line HD» F5D4076-S v2 de la marque Belkin.

### A3.3.1 Méthode de mesure

Deux adaptateurs-modems de type «Gigabit Power line HD» (modèle F5D4076-S v2) de la marque Belkin ont été reliés par une rallonge à deux connecteurs de 1,8 m et placés dans une cage de Faraday, comme illustré à la Fig. 33. La cage de Faraday était équipée d'un filtre de ligne d'alimentation en courant alternatif et de connexions coaxiales radiofréquences. Les adaptateurs CPL étaient reliés à un ordinateur et à un serveur via un routeur Ethernet. Des transferts de fichiers vers l'ordinateur étaient démarrés depuis le serveur.

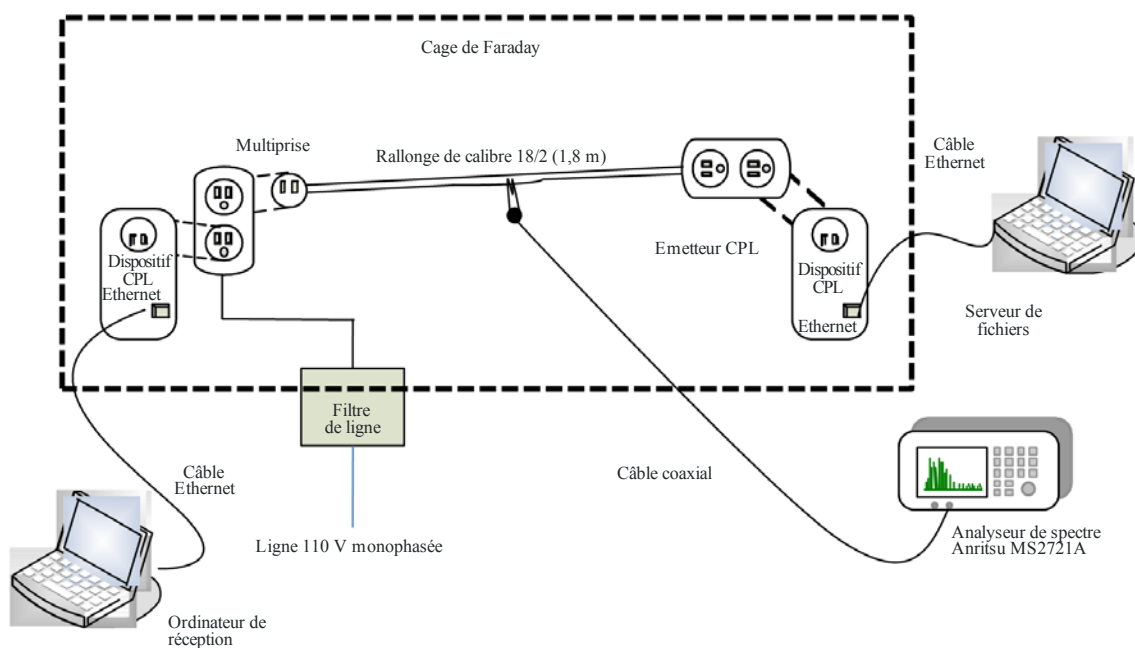
Un analyseur de spectre MS2721A de marque Anritsu a été utilisé pour enregistrer le spectre de fréquences. L'analyseur a été configuré comme suit (sauf indication contraire):

- Largeur de bande d'une résolution de 1 MHz;
- Nombre de pas de mesure: 551/balayage;
- Sans préamplificateur;
- Atténuation: 0 dB;
- Détecteur de mesure: valeurs de crête;
- Tracé: «Max hold» (mémorisation des maxima).

Le couplage entre le conducteur chargé du câble électrique et l'analyseur de spectre est réalisé à l'aide d'une boucle double. Les résultats des mesures de la puissance du signal en fonction de la fréquence, réalisées avec l'analyseur de spectre, sont présentés ci-après.

FIGURE 33

#### Montage à base d'une cage de Faraday utilisé pour les mesures

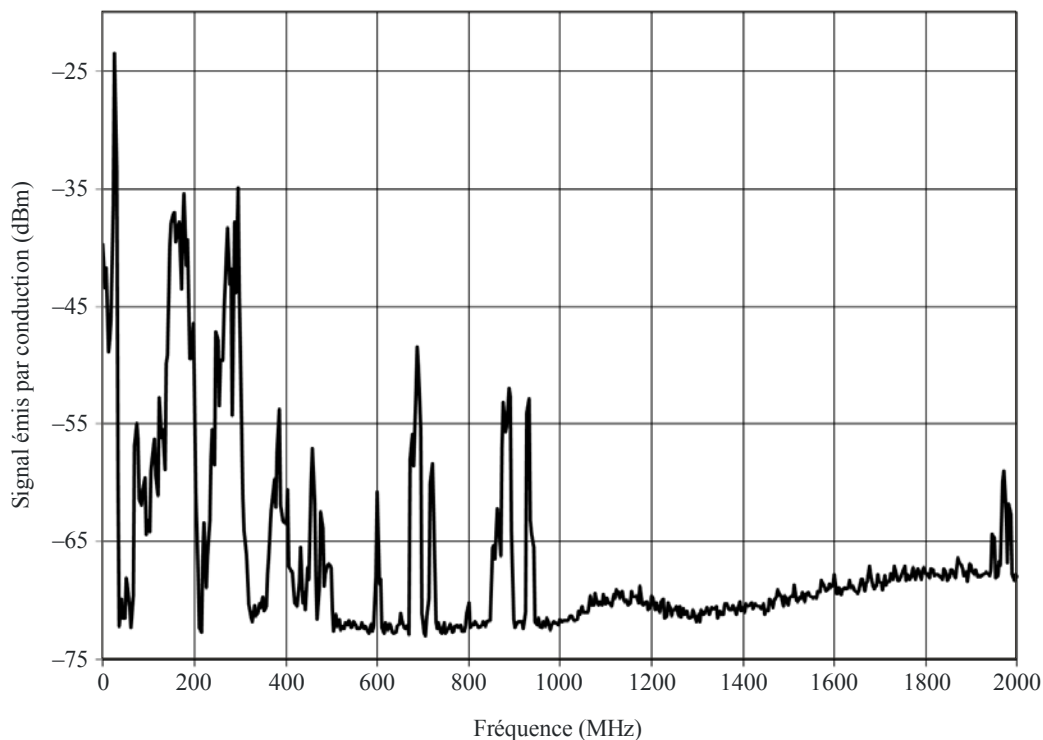


### A3.3.2 Résultats des mesures des rayonnements par conduction produits par le modem CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin

Les signaux acheminés par le câble électrique reliant les deux modems CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin en mode repos (pas de transfert de données) sont présentés à la Fig. 34. On observe que les adaptateurs présentent un niveau de sortie substantiel jusqu'à 300 MHz, ce qui est conforme aux mesures réalisées par l'IRT. Cela étant, il apparaît que les rayonnements s'étendent bien au-delà de 300 MHz et jusqu'à 930 MHz. A noter également un pic supplémentaire à 1 970 MHz.

FIGURE 34

**Rayonnements par conduction produits par une paire de modems CPL de type «Gigabit Power line HD» (modèle F5D4076-S v2) de la marque Belkin.**  
Des rayonnements apparaissent jusqu'à 1 GHz et, au-delà, à 1,9 GHz (largeur de bande de résolution 3 MHz, niveau de référence: -30 dBm).

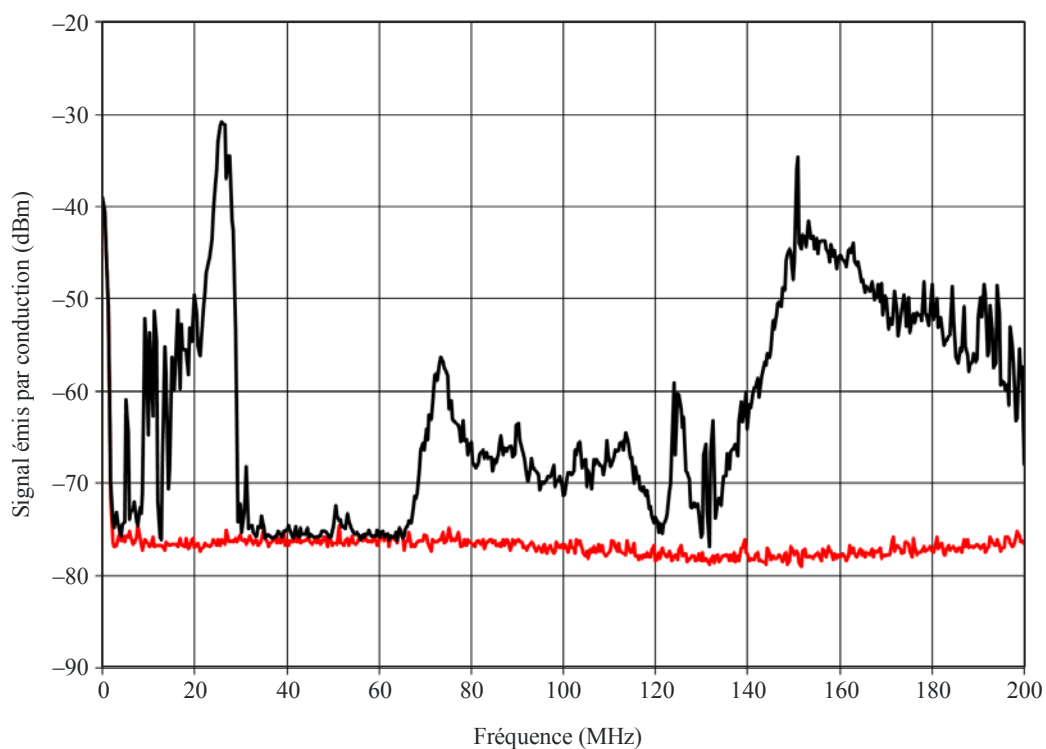


Rapport SM.2212-34

Les rayonnements par conduction émis par les deux modems CPL «Gigabit power line» F5D4076-S v2 de Belkin en mode repos (pas de transfert de données) jusqu'à 200 MHz sont présentés à la Fig. 35. Le tracé supérieur (en noir) est comparé au bruit de fond de la cage de Faraday (tracé inférieur en rouge). On peut observer que les modems CPL émettent des rayonnements substantiels jusqu'à 27 MHz puis, de nouveau, au-delà de 70 MHz.

FIGURE 35

Rayonnements par conduction produits par une paire de modems CPL de type «Gigabit Power line» (modèle F5D4076-S v2) de la marque Belkin dans la gamme des fréquences comprises entre 0 et 200 MHz. Le tracé supérieur (en noir) correspond au rayonnement des modems au repos (pas de transfert de données); le tracé inférieur (en rouge) correspond au bruit de fond de la cage de Faraday.

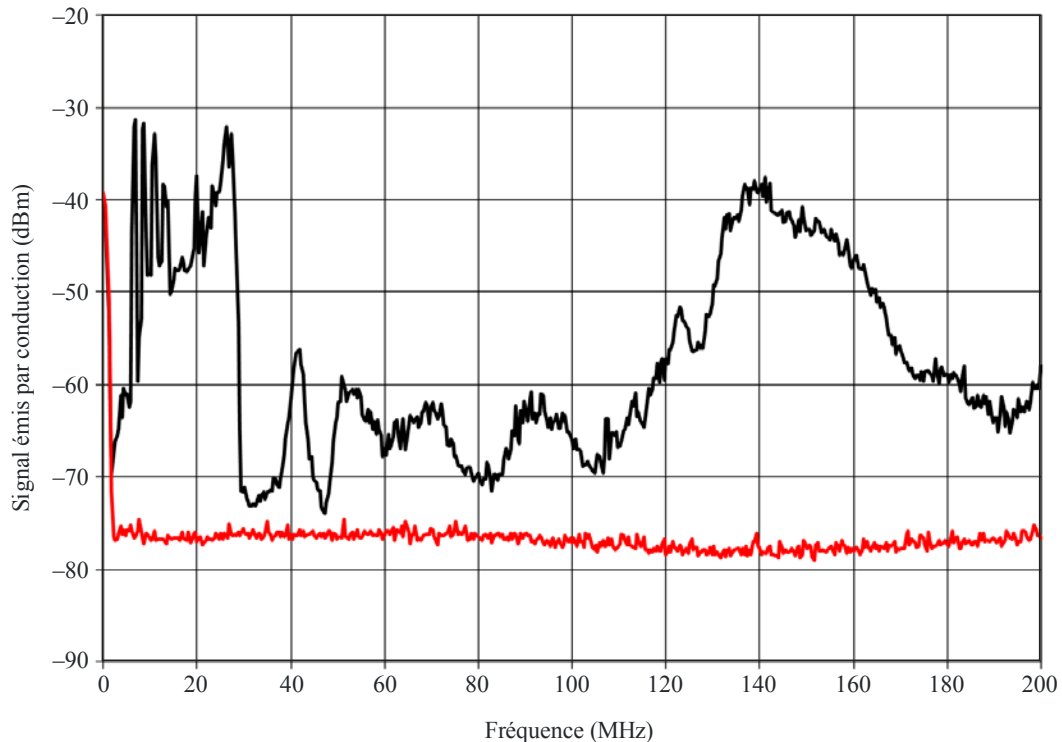


Rapport SM.2212-35

Les rayonnements par conduction émis par les deux modems CPL «Gigabit power line» F5D4076-S v2 de Belkin en activité (transfert de données) jusqu'à 200 MHz sont présentés à la Fig. 36. Le tracé supérieur (en noir) est comparé au bruit de fond de la cage de Faraday (tracé inférieur en rouge). On observe que les modems CPL produisent des rayonnements additionnels entre 27 et 70 MHz.

FIGURE 36

Rayonnements par conduction produits par une paire de modems CPL de type «Gigabit Power line» (modèle F5D4076-S v2) de la marque Belkin dans la gamme des fréquences comprises entre 0 et 200 MHz. Le tracé supérieur (en noir) correspond au rayonnement des modems en activité (transfert de données); le tracé inférieur (en rouge) correspond au bruit de fond de la cage de Faraday.



Rapport SM.2212-36

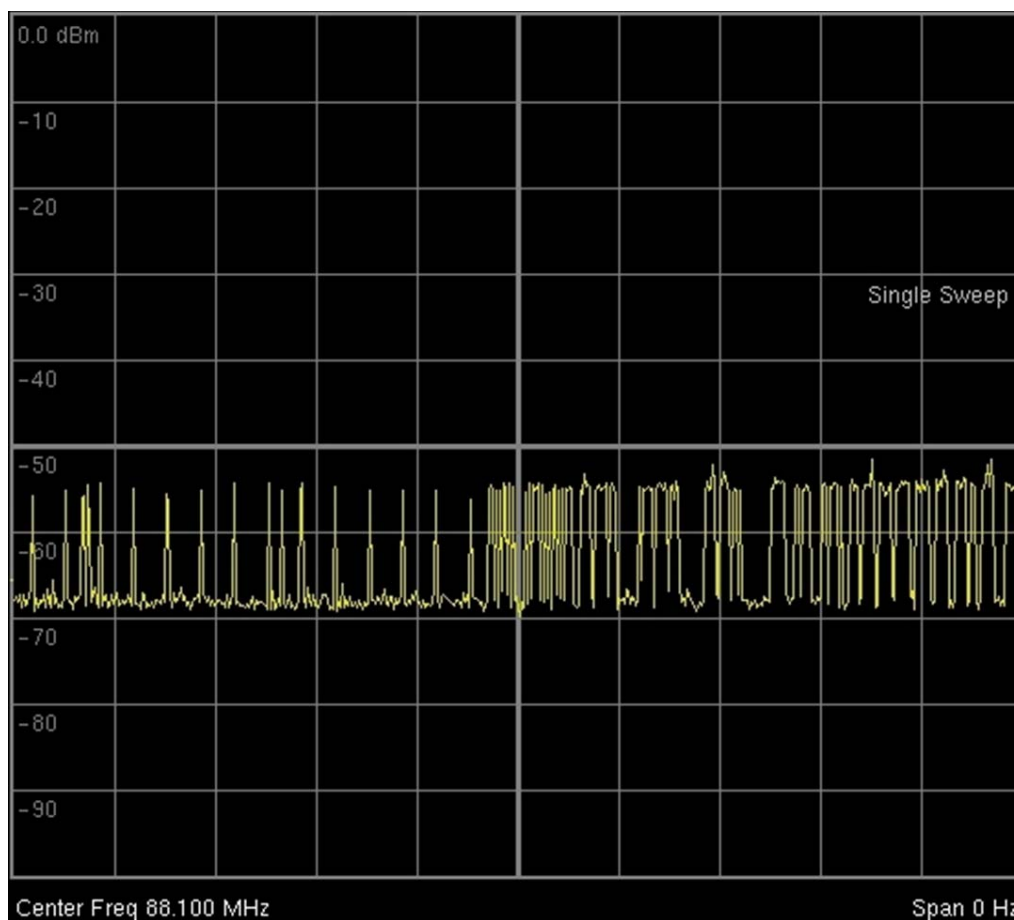
### A3.3.3 Brouillages du récepteur MF causés par le modem CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin

Les premiers résultats montrant manifestement que les modems CPL rayonnaient à des fréquences nettement supérieures à 27 MHz, un essai a été réalisé à l'aide d'un récepteur de radio MF de type «boombox» de la marque Sony placé à proximité des modems. Les rayonnements par conduction émis par une paire de modems CPL «Gigabit power line» de la marque Belkin (modèle F5D4076-S v2) à une seule fréquence, en l'occurrence 88,1 MHz, sont présentés à la Fig. 37. L'image présente un seul balayage de l'analyseur de spectre au moment où les modems passent de l'état repos à l'état actif.

Les brouillages causés par le dispositif CPL sur le récepteur MF se traduisent par une sortie audio désagréable et inacceptable de type «bateau à moteur». Le taux d'impulsions en mode repos (partie gauche de l'écran de balayage) est de 40 impulsions par seconde environ; il augmente pendant le transfert de données (partie droite de l'écran).

FIGURE 37

Rayonnements par conduction émis par une paire de modems CPL «Gigabit power line» de la marque Belkin (modèle F5D4076-S v2) à la fréquence 88,1 MHz pendant un intervalle d'une seconde.  
Les brouillages se traduisent par une sortie audio de type «bateau à moteur».



Rapport SM.2212-37

#### A3.3.4 Conclusions relatives aux mesures effectuées par CBS/NPR

La série de mesures réalisées par CBS Broadcasting et National Public Radio (NPR) dans les laboratoires NPR Labs confirme les résultats obtenus par l'IRT. Il apparaît clairement que le modem CPL «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de la marque Belkin produit des rayonnements sur l'ensemble des fréquences inférieures à 1 000 MHz. Par ailleurs, la NABA (North American Broadcasters Association/association des radiodiffuseurs d'Amérique du Nord) estime que la Recommandation G.9960 de l'UIT-T n'apporte pas de protection contre les brouillages des services de radiocommunication causés par ces rayonnements.

### A3.4 Mesures de rayonnements de réseaux CPL réalisées par la BBC

#### A3.4.1 Introduction

La BBC a réalisé des mesures de rayonnements provenant de réseaux CPL dans une cage de Faraday et dans deux maisons<sup>10</sup>, puis analysé les effets de ces rayonnements sur la couverture de radiodiffusion à partir de prévisions et de mesures de champ fournies par BBC Distribution. Pour cette étude, les mesures ont été étayées par la preuve de la procédure et par des essais d'étalonnage en laboratoire. Le livre blanc de la BBC fournit des informations détaillées sur la procédure et les résultats des essais.

Comme les essais de réception sur le terrain n'ont été réalisés que dans deux habitations, il est difficile d'extrapoler les résultats avec précision. Cela dit, étant donné que des brouillages ont été détectés dans des conditions qui ne correspondent *pas* à une limite de couverture (la marge était du reste assez grande), il va de soi qu'en cas d'utilisation à grande échelle de ces modems CPL, la réception des émissions MF ou DAB serait dégradée dans un nombre d'habitations tout à fait significatif. On trouvera une première évaluation des effets sur la couverture de service et sur la planification aux chapitres 7 et 8 du livre blanc<sup>10</sup>.

Les observations et les mesures figurant dans le présent Rapport et dans le livre blanc mettent en évidence les effets préjudiciables des CPL sur la réception d'émissions en ondes métriques qui ont toutes les chances de se manifester dans un environnement domestique ordinaire. Il a toutefois été constaté que ces effets varient considérablement en fonction de l'emplacement du récepteur dans la maison, de l'intensité des signaux disponibles pour l'étude ainsi que d'autres facteurs. Dans certains cas, aucun brouillage significatif n'a été détecté, ce qui montre que les habitations ne seraient pas toutes touchées, et que cela dépend de la combinaison récepteur-pièce-émetteur, qui est propre à chaque auditeur. Il conviendrait de réaliser des études complémentaires pour déterminer plus précisément le degré de variabilité et, partant, mieux évaluer l'incidence des CPL sur la couverture globale de la radiodiffusion en ondes métriques.

#### A3.4.2 Mesures réalisées dans la cage de Faraday

La Figure 38 présente les mesures de rayonnement réalisées dans la cage de Faraday entre 0 et 300 MHz, sans (à gauche) et avec (à droite) l'activation du réseau CPL et le transfert de données.

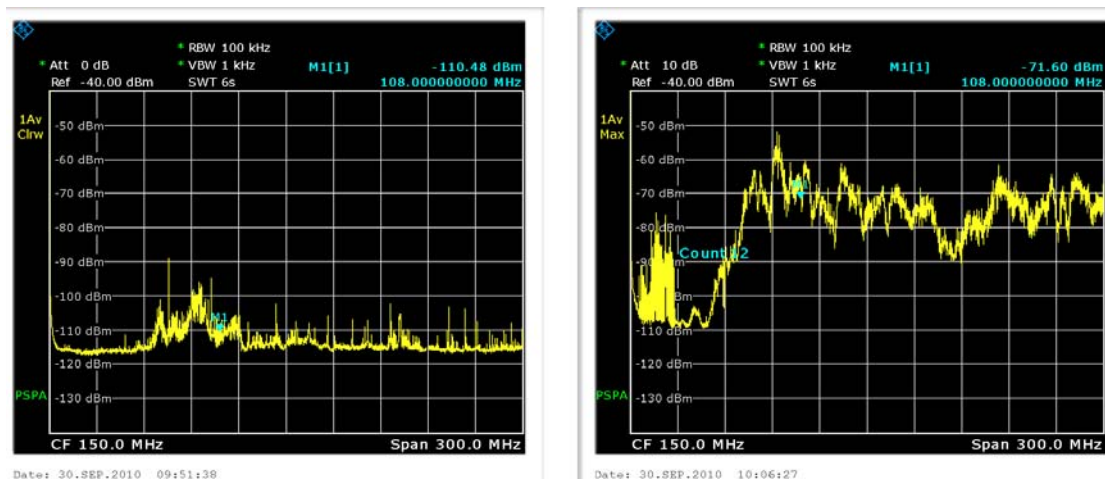
---

<sup>10</sup> Mark Waddell (BBC R&D) & Jonathan Stott (Jonathan Stott Consulting), *BBC Research White Paper WHP 195 – VHF emissions from PLT devices: First investigation of potential interference to broadcast reception.*



FIGURE 38

Rayonnements provenant d'un réseau CPL à l'essai mesurés dans une cage de Faraday



Rapport SM2212-38

Le tracé de gauche montre le spectre du signal reçu au niveau de l'antenne lorsque les dispositifs CPL sont désactivés. Le tracé de droite montre les effets produits par l'activation du réseau CPL et le transfert de données sur ce réseau. On notera que lorsque le réseau CPL est *inactif*, le bruit de fond n'est pas totalement plat et qu'il présente des rayonnements, notamment entre 60 et 120 MHz; ces signaux proviennent sans doute de l'analyseur de spectre lui-même<sup>11</sup>, car, pendant la mesure, tous les autres appareils situés dans la cage de Faraday étaient éteints. Cela étant, le tracé de droite montre que les rayonnements provenant des CPL étaient suffisamment puissants pour que toute confusion soit écartée. De fait, ils dépassent de 30 à 40 dB le bruit de fond (tracé de gauche) et il a fallu appliquer sur l'analyseur de spectre une atténuation de 10 dB pour éviter la saturation du tracé de droite. Il est seulement possible d'observer que le bruit de fond de l'analyseur a augmenté en conséquence, par exemple au voisinage de 45 MHz.

On notera tout particulièrement les rayonnements de forte puissance dans la gamme des ondes métriques, entre 50 et 300 MHz, qui proviennent de l'acheminement des données par le réseau, en l'occurrence lors d'un transfert de fichier par FTP à 12 Mbit/s environ. A titre d'exemple, une fois le facteur de correction lié à l'étalonnage de l'antenne appliqué, le niveau des rayonnements à 90 MHz est de 47 dB( $\mu$ V/m) dans une largeur de bande de 100 kHz. En l'absence de rayonnement CPL, l'analyseur présente un bruit de fond de -115 dBm dans la largeur de bande de son filtre, d'une résolution de 100 kHz; cette valeur correspond à une densité de bruit de -165 dBm/Hz, soit un facteur de bruit de 9 dB pour l'analyseur. Lorsque le réseau CPL est activé et qu'il achemine du trafic, la densité de bruit augmente de quelques 35 dB.

<sup>11</sup> Normalement, le signal à mesurer est acheminé vers l'extérieur de la cage de Faraday, là où se trouve l'appareil de mesure (analyseur de spectre par exemple), de sorte que tout rayonnement émis par ce dernier ne puisse pas atteindre l'antenne utilisée pour la mesure. Mais lors de ces essais, pour des raisons de commodité, l'équipement et l'opérateur étaient placés à l'intérieur de la cage.

Bien que le réseau CPL transmette les données en ondes métriques, on observe aussi des rayonnements dans la gamme des ondes décamétriques, au-dessous de 30 MHz<sup>12</sup>.

Etant donné que les niveaux de champ brouilleur de l'ordre de ceux figurant à la Fig. 38 sont comparables aux niveaux du signal utile pour la radiodiffusion sonore en ondes métriques, on peut s'attendre à ce qu'ils aient des effets significatifs sur la réception radio.

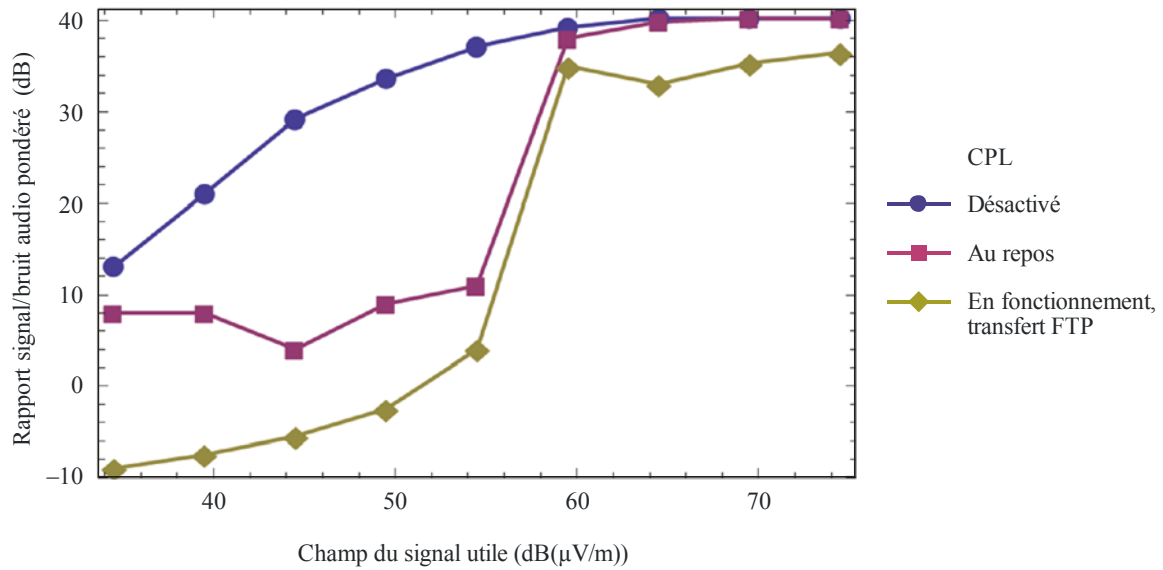
La Figure 39 fait clairement apparaître une forte dégradation due au fonctionnement du réseau CPL, sauf dans le cas où le champ du signal utile est très élevé. Il existe une zone du signal utile (à peu près entre 35 et 50 dB( $\mu$ V/m)) où l'évolution du rapport signal/bruit audio en présence de rayonnements CPL est plus ou moins parallèle à l'évolution de ce rapport en l'absence de CPL; dans cet intervalle, lorsque les CPL sont actifs, il est nécessaire d'augmenter la puissance du signal utile d'environ 20 dB pour retrouver la valeur du rapport signal/bruit en l'absence de CPL.

---

<sup>12</sup> On se méfiera de tirer des conclusions trop hâtives au vu des différences de niveau entre les ondes métriques et les ondes décamétriques, étant donné que l'antenne utilisée pour les mesures n'est pas conçue pour recevoir des ondes décamétriques et que le facteur d'étalonnage (voir l'Annexe) varie sensiblement avec la fréquence. A noter en outre que le mode «max hold» (mémoire des maxima) a été utilisé pour tenter de capturer le spectre indépendamment du facteur d'utilisation des dispositifs CPL. Il apparaît que les dispositifs CPL à l'essai transmettent les données en ondes métriques ou en ondes décamétriques, ces dernières étant retenues si la capacité de la connexion le permet. Néanmoins, quelle que soit la bande utilisée, l'autre reste en «mode repos», de sorte que le comportement du canal en attente d'activation peut toujours être évalué. En conséquence, des rayonnements sont toujours présents, à un certain degré, dans les deux bandes.

FIGURE 39

Variation du rapport signal/bruit audio en fonction du champ du signal utile en sortie du récepteur portable situé dans la cage de Faraday dans différentes conditions de fonctionnement du réseau CPL



Rapport SM.2212-39

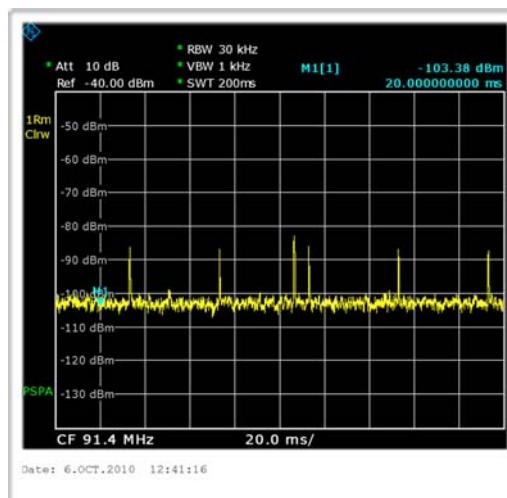
### A3.4.3 Mesures effectuées dans la maison A

L'habitation A est une maison jumelée, qui est bien desservie par les signaux radio MF et DAB. Deux stations d'émission MF du réseau de diffusion nationale respectant les critères de couverture fixés par la planification peuvent être captées. La maison A offre donc la possibilité de comparer deux scénarios de réception de signaux MF du réseau national en un seul emplacement. Lorsque le réseau CPL à l'essai n'est pas en fonctionnement, le récepteur portable capte sans difficulté et de façon satisfaisante, à l'intérieur de la maison, les signaux émis par les deux émetteurs.

La Figure 40 présente un tracé dans le domaine temporel avec une excursion en fréquence nulle lorsque le réseau CPL est au repos; on remarque que les brouillages sont de type impulsif.

FIGURE 40

Tracé dans le domaine temporel avec une excursion en fréquence nulle lorsque le réseau CPL est au repos

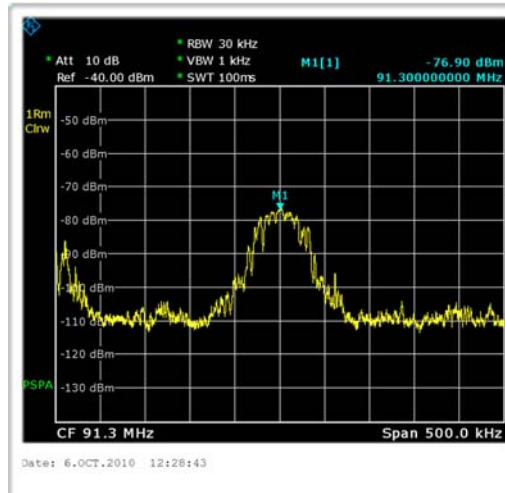


Rapport SM.2212-40

La Figure 41 montre la réception en intérieur, en l'absence de brouillages CPL, du signal MF utile de la station BBC Radio 3 provenant de l'émetteur de Wrotham. Le champ correspond à 40 dB( $\mu$ V/m) environ.

FIGURE 41

Signal MF de la station BBC Radio 3 provenant de l'émetteur de Wrotham en l'absence de brouillages CPL

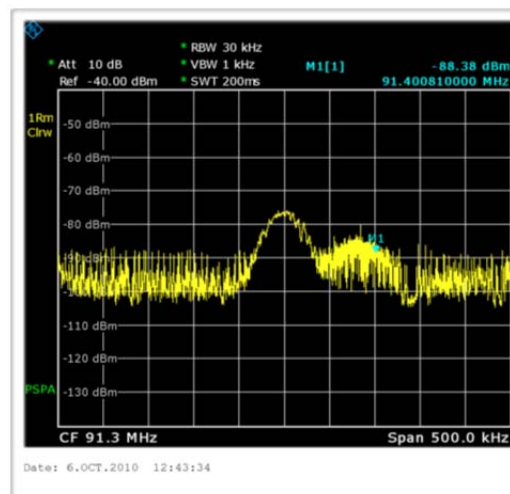


Rapport SM.2212-41

La Figure 42 montre le spectre obtenu lorsque le réseau CPL effectue un transfert. Incontestablement, le plancher (bruit + brouillages) augmente de façon très significative.

FIGURE 42

Signal MF utile de la station BBC Radio 3 provenant de l'émetteur de Wrotham lorsque le réseau CPL effectue un transfert de fichiers



Report SM.2212-42

Aucun effet réel de l'activité du réseau CPL sur la réception DAB en intérieur n'a été observé à cet emplacement.

#### A3.4.4 Mesures effectuées dans la maison B

La maison B est également bien desservie par les services MF du réseau national provenant de l'émetteur de Wrotham, les niveaux des signaux respectant aussi les critères de couverture fixés par la planification.

La Figure 43 montre la réception MF en intérieur lorsque le réseau CPL achemine des données et lorsqu'il est au repos. Par comparaison avec le scénario de la maison A présenté aux Fig. 41 et 42, l'intensité du signal utile est supérieur d'environ 11 dB et celle des brouillages de seulement quelques décibels. Le rapport signal/brouillage est donc amélioré. A l'écoute, les perturbations sont moins marquées; elles sont toutefois assez gênantes. La réception du signal de la station BBC London à 94,9 MHz au même emplacement est beaucoup plus dégradée: le champ correspondant mesuré à l'intérieur de la maison est d'environ 3 dB inférieur au signal MF de BBC Radio 3.

La maison B est également bien desservie par le réseau national DAB et par divers multiplex «locaux». Les réseaux nationaux DAB peuvent être captés avec une très bonne fiabilité dans l'ensemble de la maison à l'aide d'un récepteur portable alimenté par batterie. Ce constat n'est pas simplement subjectif, car les récepteurs DAB peuvent donner une mesure objective de la qualité de réception grâce à un contrôle des processus internes de détection et de correction d'erreurs. Les multiplex London 1 et 3 sont en pratique parfaitement audibles, tandis que la réception de London 2 n'est pas fiable.

La Figure 43 donne plusieurs exemples des spectres enregistrés en faisant varier la configuration du réseau CPL et l'emplacement du récepteur DAB. Etant donné que les dispositifs CPL et les stations DAB émettent des signaux à large bande par comparaison avec la largeur de bande de l'analyseur de spectre utilisé, il est possible d'évaluer le rapport signal/brouillage directement par examen visuel. En particulier, le tracé supérieur gauche de la Fig. 43 montre que les signaux de London 3 et des deux multiplex nationaux apparaissent distinctement, alors que ceux des autres multiplex locaux sont relativement plus faibles. La réception varie assez nettement en fonction de l'emplacement dans la maison: le tracé inférieur droit de la Fig. 43 montre une élévation des niveaux de signal pour tous les multiplex, légèrement en faveur de ceux occupant les fréquences supérieures, ainsi qu'une légère augmentation relative des multiplex locaux de Londres par rapport aux multiplex nationaux<sup>13</sup>.

Les tracés supérieurs gauche et droite de la Fig. 43 montrent le signal reçu en présence et en l'absence d'activité du réseau CPL pour un même emplacement du récepteur. Il est manifeste que, dans ce cas de figure, les brouillages dépassent même le niveau des multiplex les plus puissants (les multiplex nationaux) et il n'est donc pas surprenant que, dans ces conditions, leur réception était impossible.

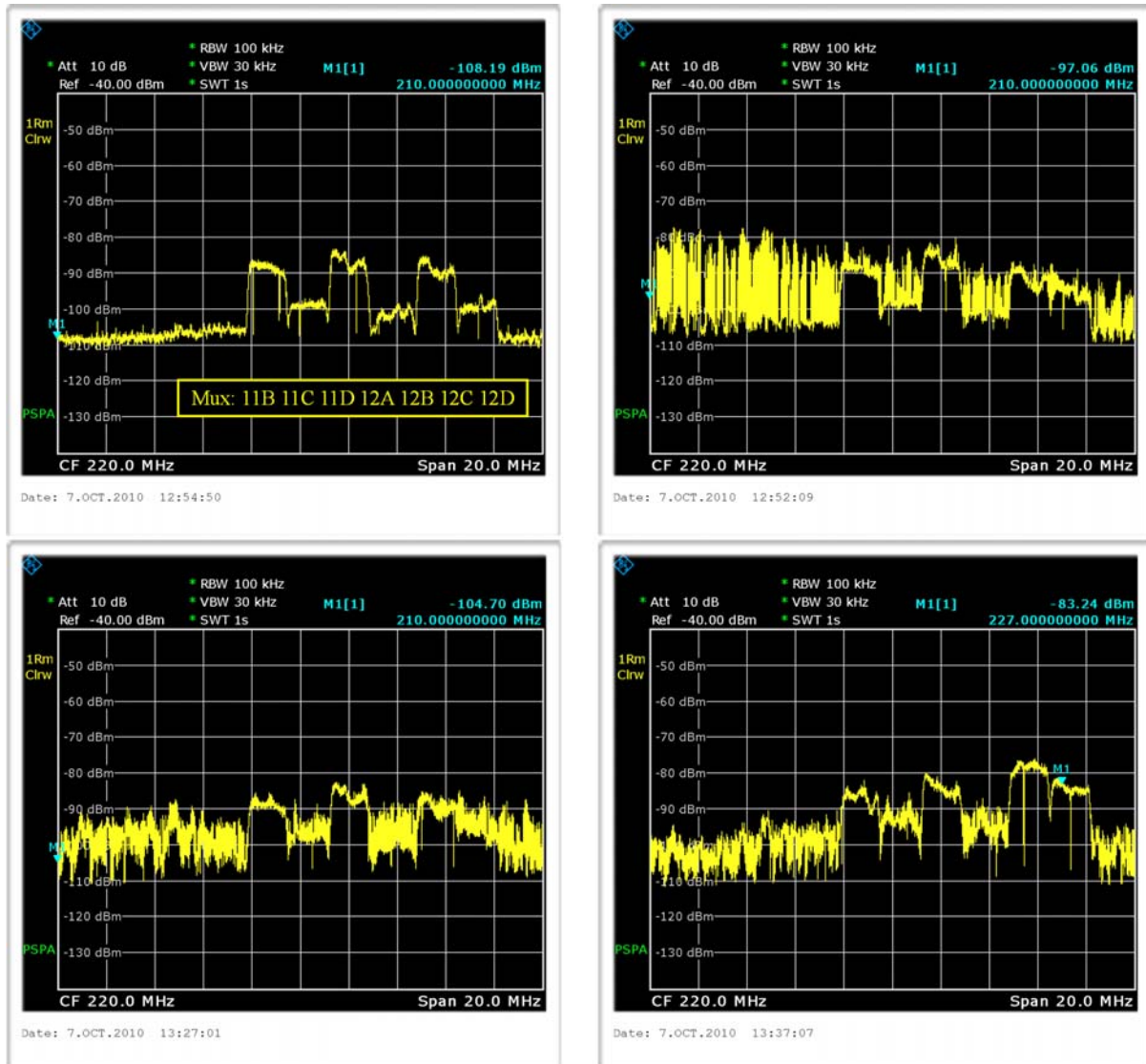
Pour ce qui est du tracé inférieur gauche de la Fig. 43, le récepteur a été placé au même endroit, mais le réseau CPL a été connecté à des prises de courant différentes. Dans ces conditions, le rapport signal/brouillage est légèrement amélioré, mais même la réception des réseaux nationaux est encore sensiblement dégradée. Le tracé inférieur droit de la Fig. 43 montre le signal reçu en un emplacement différent, mais avec la même configuration du réseau CPL que celle du tracé inférieur gauche. Dans ce cas, le rapport signal/brouillage est encore légèrement amélioré et les multiplex les plus puissants peuvent être reçus dans une certaine mesure.

---

<sup>13</sup> Les émetteurs des multiplex locaux de Londres ne sont pas situés au même endroit que ceux des réseaux nationaux; les émetteurs les plus proches de chacun des deux réseaux (à Crystal Palace pour l'un et à Reigate pour l'autre) sont situés plus ou moins au nord de la maison B (direction à laquelle font face les portes-fenêtres du salon), mais leurs relèvements respectifs ne sont pas exactement identiques.

FIGURE 43

Spectres d'un signal DAB multiplex pour différentes combinaisons de l'emplacement du récepteur d'intérieur et de la configuration du réseau CPL



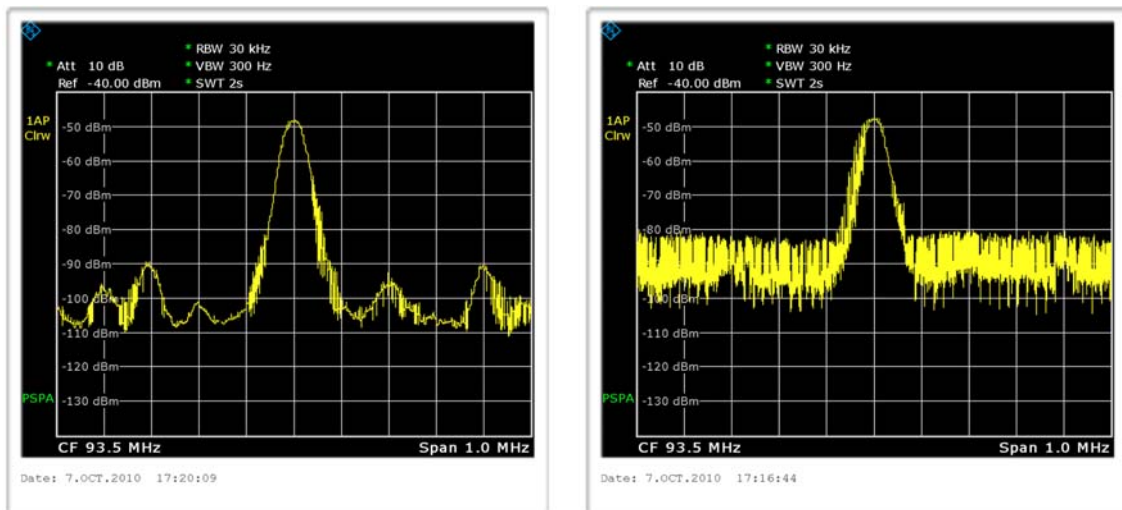
Rapport SM.2212-43

La maison B est également équipée d'une antenne externe destinée à recevoir la radio MF en bande II. L'antenne est reliée à un amplificateur distributeur situé dans le grenier, qui permet de répartir les signaux d'antenne dans plusieurs pièces.

La Figure 44 présente les spectres de réception de la radio BBC Radio 4 MF 93,5 MHz (réseau national, émetteur de Wrotham). Dans le tracé de gauche, le réseau CPL est désactivé et dans celui de droite, il achemine des données. La dégradation du bruit de fond due aux brouillages provenant des CPL apparaît nettement.

FIGURE 44

Spectres du signal reçu de BBC Radio 4 MF (93,5 MHz, émetteur de Wrotham) à l'aide de l'antenne externe de la maison B, lorsque le réseau CPL est désactivé (tracé de gauche) et lorsqu'il achemine des données (tracé de droite)



Rapport SM.2212-44

Le calcul des rapports signal/bruit et signal/brouillage à partir de ces résultats requiert un minimum de vigilance. La largeur de bande de l'analyseur de spectre est de 30 kHz, alors que celle du récepteur MF est nettement plus grande. Le rapport signal/brouillage RF du récepteur en présence de trafic CPL est donc moins bon que ce que le tracé de droite semble indiquer. De plus, l'interprétation du rapport signal/bruit du récepteur à partir du tracé de gauche est doublement faussée, en raison d'une part du problème de largeur de bande et d'autre part de la présence, dans l'analyseur de spectre, d'un atténuateur en circuit destiné à éviter la saturation.

### A3.4.5 Conclusion

Cette étude présente des mesures spectrales de rayonnements émis par des modems CPL à haut débit, mesures qui sont comparées aux signaux utiles provenant d'émetteurs MF en bande II et d'émetteurs DAB en bande III. Ces mesures ont été réalisées dans deux habitations représentatives et étayées par la preuve de la procédure et des essais d'étalonnage en laboratoire.

Les résultats montrent que les rayonnements provenant des équipements CPL sont comparables aux champs utiles de réception utilisés dans les méthodes de planification en vigueur. En pratique, le réseau CPL porte le bruit de fond à un niveau tel que des zones de couverture de bonne qualité deviennent des zones de couverture limite. Le rapport signal/bruit se rapproche du seuil plancher acceptable et la qualité audio peut rapidement se dégrader, une légère variation de certains paramètres tels que l'emplacement du récepteur ou les conditions de propagation troposphérique rendant l'écoute au mieux perturbée et au pire impossible.