

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2180
(09/2010)

**Incidence des appareils industriels,
scientifiques et médicaux (ISM) sur les
services de radiocommunication**

Série SM
Gestion du spectre



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Rapports UIT-R

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

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

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

Publication électronique
Genève, 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.2180

**Incidence des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM)
sur les services de radiocommunication**

(2010)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	2
2 Définition et bandes de fréquences.....	2
3 Brouillages causés par les appareils ISM	3
3 Applications des appareils ISM.....	3
4 Caractéristiques des rayonnements.....	6
4.1 Chauffage par induction	7
4.2 Chauffage diélectrique.....	8
4.3 Applications médicales.....	9
5 Analyse du brouillage potentiel.....	9
5.1 Modèles de brouillage du CISPR	9
5.1.1 Modèle de base.....	9
5.1.2 Modèle du CISPR pour les fréquences inférieures à 1 GHz.....	11
5.1.3 Modèle du CISPR pour les fréquences supérieures à 1 GHz.....	14
5.2 Examen des limites du CISPR.....	16
5.3 Caractéristiques et critères de protection des services de radiocommunication.	20
5.4 Mesures pratiques de rayonnements	21
5.4.1 Imagerie par résonance magnétique.....	22
5.4.2 Appareils de chauffage par induction	23
5.4.3 Four micro-ondes	24
6 Conclusion.....	25
Références.....	25
Pièce jointe 1 – Résultats de mesure pour des appareils IRM	27
Pièce jointe 2 – Résultats de mesure pour des appareils de chauffage par induction.....	33

1 Introduction

Les appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) destinés à être utilisés pour des applications autres que les communications sont largement utilisés pour diverses finalités: séchage, fusion, chauffage, soudage, décongélation, cuisson, réchauffage, brasage, moulage, imagerie, etc.

Récemment, l'UIT-R a élaboré la Recommandation UIT-R SM.1056 concernant la protection des services de radiocommunication contre les rayonnements des appareils ISM. Les limites des rayonnements des appareils ISM recommandées par l'UIT-R correspondent aux limites indiquées dans la Publication 11 du Comité international spécial des perturbations radioélectriques (CISPR), lesquelles sont fondées sur le modèle de brouillage décrit dans la Publication 16-4-4 du CISPR.

On s'attend à ce que des appareils ISM et des émetteurs-récepteurs radio soient utilisés à proximité immédiate les uns des autres étant donné que le nombre de ces dispositifs RF est en augmentation. Il est donc nécessaire d'examiner l'incidence des appareils ISM sur les services de radiocommunication.

2 Définition et bandes de fréquences

Le présent paragraphe porte sur les dispositions du Règlement des radiocommunications (RR) concernant:

1. la définition des utilisations ISM;
2. les bandes de fréquences;
3. les brouillages causés par les appareils ISM.

Des extraits du RR sont reproduits ci-après en ce qui concerne ces trois points:

1 Définition

«**1.15** *utilisations industrielles, scientifiques et médicales (de l'énergie radioélectrique) (ISM):* Mise en œuvre d'appareils ou d'installations conçus pour produire et utiliser, dans un espace réduit, de l'énergie radioélectrique à des fins industrielles, scientifiques, médicales, domestiques ou analogues, à l'exclusion de tout usage de télécommunication.»

2 Bandes de fréquences

«**5.138** Les bandes suivantes:

6 765-6 795 kHz	(fréquence centrale 6 780 kHz),
433,05-434,79 MHz	(fréquence centrale 433,92 MHz) dans la Région 1 à l'exception des pays indiqués au numéro 5.280 ,
61-61,5 GHz	(fréquence centrale 61,25 GHz),
122-123 GHz	(fréquence centrale 122,5 GHz), et
244-246 GHz	(fréquence centrale 245 GHz)

sont utilisables pour les applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM). L'utilisation de ces bandes de fréquences pour ces applications est subordonnée à une autorisation particulière donnée par l'administration concernée, en accord avec les autres administrations dont les services de radiocommunication pourraient être affectés. Pour l'application de cette disposition, les administrations se reporteront aux plus récentes Recommandations pertinentes de l'UIT-R.

5.280 Dans les pays suivants: Allemagne, Autriche, Bosnie-Herzégovine, Croatie, L'ex-République yougoslave de Macédoine, Liechtenstein, Monténégro, Portugal, Serbie, Slovénie et Suisse, la bande 433,05-434,79 MHz (fréquence centrale 433,92 MHz) est utilisable pour les applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM). Les services de radiocommunication de ces pays fonctionnant dans cette bande doivent accepter les brouillages préjudiciables qui peuvent se produire du fait de ces applications. Les appareils ISM fonctionnant dans cette bande sont soumis aux dispositions du numéro **15.13**. (CMR-07)».

«**5.150** Les bandes suivantes:

13 553-13 567 kHz	(fréquence centrale 13 560 kHz),
26 957-27 283 kHz	(fréquence centrale 27 120 kHz),
40,66-40,70 MHz	(fréquence centrale 40,68 MHz),
902-928 MHz	dans la Région 2 (fréquence centrale 915 MHz),
2 400-2 500 MHz	(fréquence centrale 2 450 MHz),
5 725-5 875 MHz	(fréquence centrale 5 800 MHz), et
24-24,25 GHz	(fréquence centrale 24,125 GHz)

sont également utilisables pour les applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM). Les services de radiocommunication fonctionnant dans ces bandes doivent accepter les brouillages préjudiciables qui peuvent se produire du fait de ces applications. Les appareils ISM fonctionnant dans ces bandes sont soumis aux dispositions du numéro **15.13**.»

3 Brouillages causés par les appareils ISM

«**15.12** § 8 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 Règlement¹.

15.13 § 9 Les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiques nécessaires pour que les rayonnements provenant des appareils destinés aux utilisations industrielles, scientifiques et médicales soient réduits au minimum et que, en dehors des bandes utilisables par ces appareils, le niveau des rayonnements 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 Règlement¹.»

3 Applications des appareils ISM

Conformément à la Recommandation UIT-R SM.1056, les applications ISM sont par exemple les suivantes:

Appareils de chauffage par induction (au-dessous de 1 MHz)

- Cuisson domestique par induction.
- Fusion des métaux.
- Réchauffage des billettes.
- Soudage de tubes.
- Soudure et brasage.

¹ **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.

- Réchauffage des composants.
- Soudage par points.
- Traitement thermique sélectif de surface de pièces métalliques.
- Croissance et purification des cristaux semi-conducteurs.
- Collage par joints d'éléments de carrosserie automobile.
- Soudage des emballages.
- Réchauffage de feuillets d'acier pour la galvanisation, le recuit et le séchage des peintures.

Appareils de chauffage diélectrique RF (1-100 MHz)

- Séchage des placages et du bois d'œuvre.
- Séchage des textiles.
- Séchage des fibres de verre.
- Séchage du papier et des revêtements en papier.
- Préchauffage des plastiques.
- Soudage et moulage des plastiques.
- Post-cuisson et séchage des denrées alimentaires.
- Décongélation des viandes et des poissons.
- Séchage à cœur en fonderie.
- Séchage des colles.
- Séchage des couches minces.
- Polymérisation des adhésifs.
- Préchauffage des matériaux.

Appareils médicaux

- Appareils de diathermie et d'hyperthermie à ondes décimétriques et à ondes hyperfréquences.
- Appareils chirurgicaux électriques.
- Imagerie par résonance magnétique (IRM).
- Imagerie par ultrasons.

Appareils à hyperfréquences (au-dessus de 900 MHz)

- Fours à micro-ondes domestiques et commerciaux.
- Réchauffage, décongélation et cuisson des aliments.
- Polymérisation aux ultraviolets des peintures et revêtements.
- Vulcanisation du caoutchouc.
- Produits pharmaceutiques.

Appareils divers

- Appareils de soudure à l'arc avec excitation RF.
- Appareils d'étincelage.

Matériels de laboratoire et matériels scientifiques

- Générateurs de signaux.
- Récepteurs de mesure.
- Fréquencemètres.
- Débitmètres.
- Analyseurs de spectre.
- Appareils de pesage.
- Appareils d'analyse chimique.
- Microscopes électroniques.
- Alimentations à découpage (non incorporées à un appareil).

Le Tableau 1 présente diverses applications des appareils ISM en fonction de la fréquence de fonctionnement.

TABLEAU 1
Exemples d'applications des appareils ISM

Fréquence (MHz)	Applications
Inférieure à 0,15	Chauffage industriel par induction (soudage et fusion des métaux) Nettoyage aux ultrasons (15-30 kHz) Applications médicales (imagerie par ultrasons)
0,15-1	Chauffage par induction (traitement thermique, soudage des emballages, soudage et fusion des métaux) Diagnostics médicaux aux ultrasons
1-10	Diathermie chirurgicale (oscillateur à ondes amorties 1-10 MHz) Collage du bois et traitement du bois (3,2 et 6,5 MHz) Générateurs d'induction à tubes électroniques Production de matériaux semi-conducteurs Soudage stabilisé à l'arc RF (oscillateur à ondes amorties 1-10 MHz)
10-100	Chauffage diélectrique (la majorité des appareils fonctionnent dans les bandes désignées pour les appareils ISM (13,56, 27,12 et 40,68 MHz), mais nombre d'entre eux fonctionnent également sur des fréquences situées à l'extérieur de ces bandes) <ul style="list-style-type: none"> – Céramiques – Séchage à cœur en fonderie – Séchage des textiles – Produits industriels (livres, papier, collage et séchage) – Denrées alimentaires (post-cuisson, décongélation des viandes et des poissons) – Séchage de solvants – Séchage et collage des bois (séchage des placages et du bois d'œuvre) – Séchage diélectrique général – Chauffage des plastiques (moulage en coquille et formage des plastiques) Applications médicales <ul style="list-style-type: none"> – Diathermie médicale (27 MHz) – Imagerie par résonance magnétique (10-100 MHz dans de vastes locaux blindés)

TABLEAU 1 (*fin*)

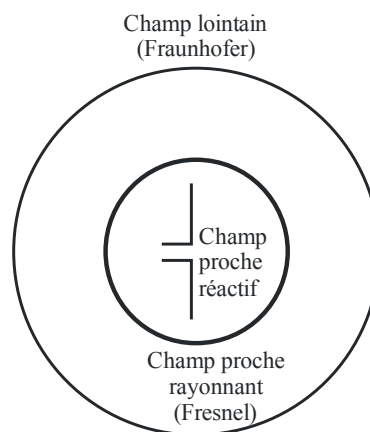
Fréquence (MHz)	Applications
100-1 000	Traitement des denrées alimentaires (915 MHz) Applications médicales (433 MHz) Générateurs de plasma RF Vulcanisation du caoutchouc (915 MHz)
Supérieure à 1 000	Générateurs de plasma RF Fours à micro-ondes domestiques (2 450 MHz) Fours à micro-ondes commerciaux (2 450 MHz) Vulcanisation du caoutchouc (2 450 MHz) Polymérisation aux ultraviolets avec excitation RF

4 Caractéristiques des rayonnements

D'une manière générale, les caractéristiques des rayonnements d'un appareil ISM dépendent de la fréquence de fonctionnement, de la forme d'onde de la source RF, de la structure de l'élément rayonnant, de la structure environnante de l'élément rayonnant, etc. Elles dépendent aussi de la distance par rapport à l'appareil ISM. D'après la théorie classique des antennes, l'espace qui entoure un élément rayonnant est subdivisé en trois régions:

- région de champ proche réactif;
- région de champ proche rayonnant (Fresnel);
- région de champ lointain (Fraunhofer), comme indiqué sur la Fig. 1. Par conséquent, les caractéristiques des rayonnements qui ont une incidence sur les dispositifs de radiocommunication peuvent être différentes suivant la distance entre élément rayonnant et récepteur brouillé.

FIGURE 1
Régions de champ d'une antenne

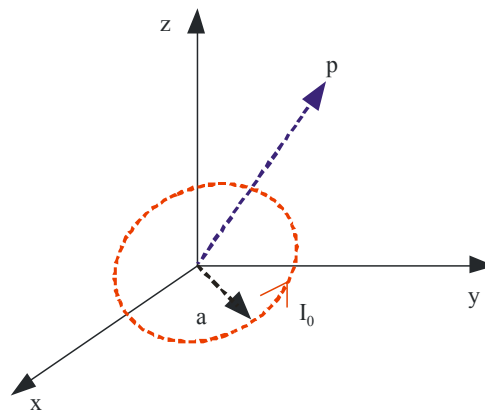


4.1 Chauffage par induction

Le chauffage par induction est un procédé utilisé pour lier, durcir ou ramollir des métaux ou d'autres matériaux conducteurs. Il repose sur l'application de la théorie du transformateur. Lorsqu'un courant électrique alternatif est appliqué au primaire d'un transformateur, un champ magnétique alternatif est créé. D'après la loi de Faraday, si le secondaire du transformateur est situé à l'intérieur du champ magnétique, un courant électrique sera induit, appelé courant de Foucault. Dans un équipement de base de chauffage par induction, la bobine correspond au primaire du transformateur et le conducteur destiné à être chauffé correspond à un secondaire en court-circuit.

Etant donné que la forme de la bobine de chauffage par induction est analogue à celle d'une antenne cadre circulaire, les caractéristiques des rayonnements de cette bobine sont également analogues à celles d'une antenne cadre circulaire. En particulier, la fréquence utilisée pour le chauffage par induction étant inférieure à 1 MHz, la longueur d'onde est supérieure à 300 m, ce qui est nettement supérieur au rayon de la bobine de chauffage par induction. Par conséquent, cette bobine peut être considérée comme une antenne cadre circulaire de petites dimensions.

FIGURE 2
Géométrie d'une antenne cadre circulaire



Rapport SM.2180-02

Lorsqu'un système de radiocommunication est situé près de la bobine de chauffage par induction ($kr \ll 1$), les champs électromagnétiques prédominants qui ont une incidence sur le dispositif peuvent être approximés comme suit:

$$H_r = \frac{a^2 I_0 \cos \theta}{2r^3} e^{-jkr} \quad (1)$$

$$H_\theta = \frac{a^2 I_0 \sin \theta}{4r^3} e^{-jkr} \quad (2)$$

$$E_\phi = -j \frac{ka^2 I_0 \sin \theta}{4r^2} e^{-jkr} \quad (3)$$

$$E_{\phi} = E_r = E_{\theta} = 0 \quad (4)$$

où a est le rayon de la bobine de chauffage par induction, k est le nombre d'onde et r est la distance de mesure.

Les deux champs magnétiques sont en phase temporelle. En revanche, ils sont en quadrature temporelle avec le champ électrique. Ils ne sont donc pas associés à un flux de puissance moyen dans le temps. En outre, lorsque $r \rightarrow 0$, l'intensité du champ magnétique est largement supérieure à celle du champ électrique. Par conséquent, les formules (1) à (4) se rapportent à des champs magnétiques quasi-stationnaires.

Lorsque la position de mesure est éloignée du système de chauffage par induction ($kr \gg 1$), les champs électromagnétiques prédominants peuvent être approximés comme suit:

$$H_{\theta} = - \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (5)$$

$$E_{\phi} = \eta \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (6)$$

$$E_r = H_{\phi} = E_r = E_{\theta} = 0 \quad (7)$$

Les champs électrique et magnétique sont en phase temporelle et inversement proportionnels à r . Ceux du cadre de petites dimensions dans la région du champ lointain sont perpendiculaires entre eux et transversaux par rapport à la direction de propagation. Ils forment une onde plane sphérique uniforme dont l'impédance est égale à l'impédance intrinsèque du support.

4.2 Chauffage diélectrique

Les appareils de chauffage diélectrique sont conçus pour réchauffer certains matériaux diélectriques (par exemple denrées alimentaires, textiles, bois d'œuvre, etc.). Pour cela, ils utilisent un rayonnement micro-ondes pour réchauffer les molécules polarisées à l'intérieur des matériaux diélectriques. Un appareil de chauffage diélectrique est constitué d'un générateur de puissance RF (par exemple un magnétron), d'une cavité ou chambre, d'un guide d'ondes et d'un contrôleur de puissance RF. D'une manière générale, la cavité est composée de plaques métalliques et les micro-ondes produites par le magnétron sont réfléchies contre les parois métalliques de la cavité et absorbées par les matériaux diélectriques.

Si l'appareil de chauffage diélectrique a une enceinte métallique hermétique, il est supposé n'émettre aucun rayonnement. Etant donné que les matériaux diélectriques sont placés dans la cavité par une porte, une fuite de micro-ondes se produit par les faibles interstices autour de la porte, ce qui constitue une antenne à ouverture. Les caractéristiques des rayonnements des appareils de chauffage diélectrique sont donc analogues à celles d'antennes à ouverture.

A titre d'exemple, la longueur d'onde des micro-ondes utilisées par les appareils de chauffage diélectrique est comprise entre 10 cm et 30 m environ. Les fours à micro-ondes domestiques fonctionnent à 2,45 GHz, ce qui correspond à une longueur d'onde d'environ 12,2 cm. Etant donné que cette longueur d'onde n'est pas supérieure aux dimensions de l'appareil, la longueur ou taille de l'ouverture est comparable à la longueur d'onde. Les rayonnements émis par l'appareil de chauffage diélectrique sont analogues à ceux d'une antenne réseau à commande de phase.

4.3 Applications médicales

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), ou imagerie par résonance magnétique nucléaire (RMN), est essentiellement une technique d'imagerie médicale très couramment utilisée en radiologie pour visualiser la structure interne et les fonctions du corps. Contrairement à la tomographie assistée par ordinateur, elle n'utilise pas de rayonnement ionisant mais emploie un champ magnétique puissant pour aligner la magnétisation du noyau des atomes d'hydrogène (en règle générale) de l'eau présente dans le corps. On utilise des champs radiofréquence (RF) pour modifier de façon systématique l'alignement de cette magnétisation et les noyaux d'hydrogène produisent alors un champ magnétique tournant détectable par le scanner. Un appareil IRM est habituellement installé dans une grande salle blindée afin d'assurer une protection contre les champs électromagnétiques extérieurs et d'éviter que des champs RF soient rayonnés vers l'extérieur.

Etant donné que la bobine RF de l'appareil IRM forme un cadre rectangulaire courbé, les caractéristiques des rayonnements sont analogues à celles d'une antenne cadre. En IRM, la longueur d'onde du signal RF, voisine de 3 à 30 m, est comparable à la taille de la bobine RF. Les caractéristiques des rayonnements sont donc analogues à celles d'une antenne cadre générale.

La salle blindée dans laquelle est installé l'appareil IRM peut être considérée comme une cavité avec de faibles interstices et des câbles pour les communications et l'alimentation électrique. La bobine RF de l'appareil IRM est utilisée comme source d'excitation de la cavité et les rayonnements à l'extérieur de la salle blindée se produisent par le biais des faibles interstices et des câbles. Les caractéristiques des rayonnements d'un appareil IRM sont donc analogues à celles d'une antenne à ouverture et à celles d'une antenne filaire.

5 Analyse du brouillage potentiel

Le présent paragraphe porte sur:

1. les modèles de brouillage du CISPR;
2. les limites fixées dans la Publication 11 du CISPR;
3. les résultats de certaines mesures pratiques de rayonnements.

5.1 Modèles de brouillage du CISPR

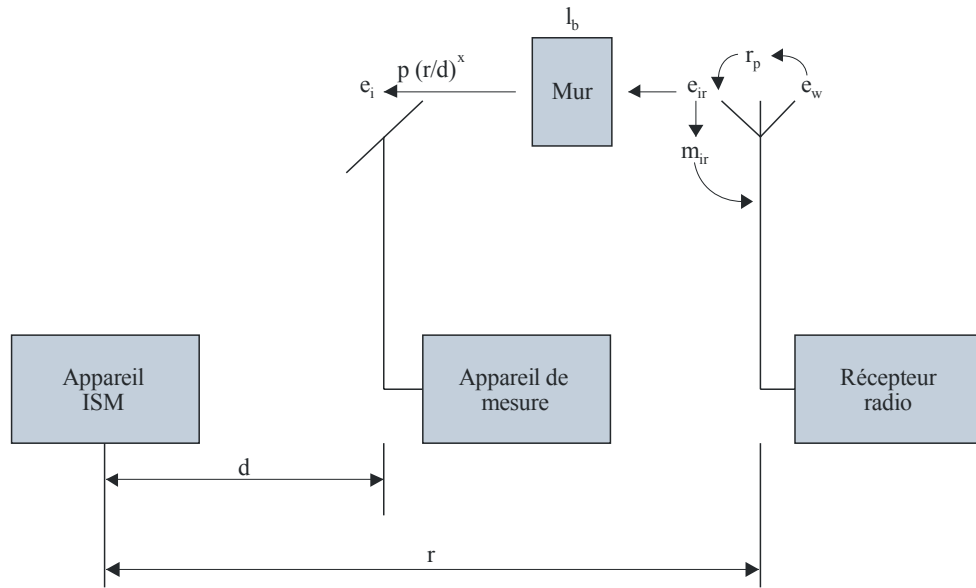
Le présent paragraphe décrit le modèle de brouillage probabiliste élaboré par le CISPR afin de protéger les récepteurs de radiocommunication situés à proximité immédiate d'appareils ISM. La Publication 16-4-4 du CISPR contient deux modèles, l'un au-dessous de 1 GHz et l'autre au-dessus, utilisés pour déterminer les limites des rayonnements émis par les appareils ISM sur la base de la théorie des probabilités. Ces modèles du CISPR sont des outils utiles pour évaluer l'incidence des appareils ISM sur les services de radiocommunication.

5.1.1 Modèle de base

Les modèles du CISPR reposent sur une approche statistique. La Fig. 3 représente le modèle de base utilisé par le CISPR pour déterminer les limites des rayonnements émis par les appareils ISM. Sur la Fig. 3, e_w est l'intensité du signal utile à protéger à une distance de r m correspondant à l'emplacement de l'antenne du récepteur brouillé; e_{ir} est l'intensité du brouillage admissible à l'emplacement de l'antenne du récepteur brouillé, donnée par $e_{ir} = e_w / r_p$, où r_p est le rapport de protection; m_{ir} est le facteur d'adaptation de polarisation entre la polarisation de e_{ir} et celle de l'antenne du récepteur brouillé; l_b est le facteur d'occultation par les bâtiments et autres obstacles; d est la distance entre l'appareil de mesure et l'appareil ISM; x est le coefficient de propagation de l'onde.

FIGURE 3

Modèle du CISPR utilisé pour le calcul des limites applicables aux appareils ISM



Rapport SM.2180-03

Compte tenu de ces paramètres, l'intensité de la perturbation causée par une source située à une distance d , désignée par e_i , est calculée comme suit:

$$e_i = p [(e_w/r_p) m_{ir} l_b (r/d)^x] \quad (8)$$

où:

p est le facteur de probabilité statistique complexe, qui est calculé comme étant le produit de $p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_8 \cdot p_9 \cdot p_{10}$, où:

- p_1 : probabilité que le lobe principal des rayonnements soit dans la direction du récepteur brouillé;
- p_2 : probabilité que le gain maximal de l'antenne de réception directive soit dans la direction de la source de la perturbation;
- p_3 : probabilité que le récepteur brouillé soit stationnaire;
- p_4 : probabilité que le signal perturbateur soit généré sur une fréquence critique;
- p_5 : probabilité que l'harmonique concerné soit inférieur à une valeur limite;
- p_6 : probabilité que le type de signal perturbateur généré produise un effet important sur le système de réception;
- p_7 : probabilité que la source de la perturbation et le système de réception fonctionnent en même temps;
- p_8 : probabilité que la source de la perturbation se trouve en deçà de la distance à laquelle un brouillage est susceptible de se produire;
- p_9 : probabilité que la valeur des rayonnements à la limite de la zone de service du service protégé respecte tout juste la limite applicable aux perturbations RF; et
- p_{10} : probabilité que les bâtiments assurent un affaiblissement.

Exprimée en grandeurs logarithmiques, la formule (8) peut être réécrite comme suit:

$$E_i = P + E_w - R_p + M_{ir} + L_b + x \cdot 20 \log(r/d) \quad (9)$$

5.1.2 Modèle du CISPR pour les fréquences inférieures à 1 GHz

La valeur de p est supposée être égale à 1 pour les fréquences inférieures à 1 GHz. La probabilité que le rapport signal/brouillage réel, R , au port d'entrée de l'antenne d'un récepteur soit supérieur au rapport signal/brouillage minimal admissible, R_p , correspond à une qualité de réception prédéterminée, q , comme suit:

$$\Pr\{R(m_R, s_R) > R_p\} = q \quad (10)$$

où:

- $\Pr\{ \}$: fonction de probabilité;
- $R(m_R, s_R)$: rapport signal/brouillage réel exprimé en fonction de sa valeur moyenne (m_R) et de son écart type (s_R);
- R_p : rapport signal/brouillage minimal admissible (rapport de protection) et grandeur logarithmique de r_p ;
- q : valeur déterminée représentant la fiabilité des communications.

Compte tenu du modèle représenté sur la Fig. 3, le rapport R peut être exprimé en fonction du signal utile, du signal perturbateur, des affaiblissements de propagation et du gain d'antenne, comme suit:

$$R = E_w(m_w, s_w) + G_w(m_{Gw}, s_{Gw}) - [E_i(m_i, s_i) + G_i(m_{Gi}, s_{Gi}) - L_o(m_{Lo}, s_{Lo}) - L_b(m_{Lb}, s_{Lb}) + M_{ir}(m_{Mir}, s_{Mir})] \text{ dB} \quad (11)$$

où:

- E_w : intensité réelle du signal utile à l'emplacement de l'antenne du récepteur radio exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_w) et de son écart type (s_w);
- E_i : intensité du signal perturbateur à la distance de mesure d au niveau d'un site de test exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_i) et de son écart type (s_i);
- G_w : valeur réelle du gain d'antenne du récepteur radio pour le signal utile exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_{Gw}) et de son écart type (s_{Gw});
- G_i : valeur réelle du gain d'antenne du récepteur radio pour le signal perturbateur exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_{Gi}) et de son écart type (s_{Gi});
- L_o : valeur réelle du facteur qui tient compte de l'affaiblissement de l'intensité de la perturbation sur son trajet de propagation vers l'emplacement de l'antenne du récepteur radio lorsqu'elle se propage en espace libre sans obstacles, exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_{Lo}) et de son écart type (s_{Lo}), pour la distance de mesure d au niveau du site de test:

$$L_o = x \cdot 20 \log(r/d)$$

- L_b : valeur réelle du facteur qui tient compte de l'affaiblissement de l'intensité de la perturbation dû aux obstacles sur son trajet de propagation, exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_{Lb}) et de son écart type (s_{Lb}), par rapport à la valeur correspondant à la propagation en espace libre;

M_{ir} : valeur réelle du facteur d'adaptation de polarisation entre la polarisation de l'intensité de la perturbation e_{ir} et celle de l'antenne de réception du récepteur brouillé, exprimée en fonction de sa valeur moyenne (m_{Mir}) et de son écart type (s_{Mir}). Lorsque la polarisation de l'antenne de réception correspond à la polarisation de e_{ir} , la valeur absolue (m_{ir}) est égale à 1 et elle est inférieure à 1 dans tous les autres cas. Etant donné que M_{ir} et sa valeur moyenne (m_{Mir}) sont employés dans des termes logarithmiques, les grandeurs associées sont égales ou inférieures à 0 dB. Un signe négatif est donc toujours présent.

Si toutes les variables aléatoires présentes dans le membre de droite de la formule (11) sont des variables aléatoires gaussiennes et sont mutuellement indépendantes, alors la distribution des variables aléatoires est gaussienne, la moyenne (m_R) et l'écart type (s_R) étant les suivants:

$$m_R = m_w + m_{Gw} - m_i - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} \quad (12a)$$

$$s_R = (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (12b)$$

Après normalisation, la formule (11) devient:

$$P[R(m_R, s_R) > R_p] = F[-(R_p - m_R)/s_R] = q \quad (13)$$

Ici, $F[]$ est la fonction de distribution gaussienne de moyenne $m = 0$ et d'écart type $s = 1$. Si on utilise l'inverse de cette fonction, désignée par $F^{-1}[]$, la moyenne de R est donnée par:

$$m_R = R_p + t_q s_R \quad (14)$$

où $t_q = F^{-1}[q]$.

Si on intègre ensuite les formules (12a) et (12b) dans la formule (14), on obtient, après quelques manipulations, le résultat suivant:

$$m_i = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p - t_q (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (15)$$

Etant donné que la moyenne de la variable aléatoire E_i doit être inférieure à la limite, E_{Limit} , on a:

$$\Pr\{E_i < E_{Limit}\} = F[(E_{Limit} - m_i)/s_i] = b \quad (16)$$

Si on applique $F^{-1}[]$ à la formule (16), E_{Limit} s'exprime comme suit:

$$E_{Limit} = m_i + t_b s_i \quad (17)$$

Le terme t_b correspond à $F^{-1}[b]$. Ici, le terme m_{Lo} est réécrit comme suit:

$$m_{Lo} = x \cdot 20 \log(r/d) \quad (18)$$

Le terme x est le coefficient de propagation de l'onde qui détermine le taux réel d'affaiblissement en espace libre.

Enfin, si on combine (15), (17) et (18), E_{Limit} est donné par:

$$E_{Limit} = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + x \cdot 20 \log(r/d) + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p + t_b s_i - t_a (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (19)$$

En règle générale, les valeurs fixées pour t_a et t_b sont proches de 0,84, conformément à la Recommandation 46/1 du CISPR (voir la Publication 16-4-3 du CISPR), pour satisfaire la condition selon laquelle 80% des appareils produits en série doivent respecter la limite applicable aux perturbations.

Le Tableau 2 donne un exemple représentatif de limite calculée sur la base du modèle du CISPR au-dessous de 1 GHz.

TABLEAU 2

Exemple de limite calculée sur la base du modèle du CISPR au-dessous de 1 GHz

Intensité réelle du signal utile, E_w		Valeur réelle du gain d'antenne du récepteur radio pour le signal utile, G_w	
Valeur moyenne, m_w (dB(μ V/m))	Ecart type, s_w (dB)	Valeur moyenne, m_{Gw} (dB)	Ecart type, s_{Gw} (dB)
16	2	0	0,1
Valeur réelle du gain d'antenne du récepteur radio pour le signal perturbateur, G_i		Valeur réelle du facteur qui tient compte de l'affaiblissement de l'intensité de la perturbation, $L_o = x \cdot 20 \cdot \log_{10}(r/d)$	
Valeur moyenne, m_{Gi} (dB)	Ecart type, s_{Gi} (dB)	Valeur moyenne, m_{Lo} (dB)	Ecart type, s_{Lo} (dB)
0	0,1	16,47817482	0,1
Valeur réelle du facteur qui tient compte de l'affaiblissement de l'intensité de la perturbation dû aux obstacles, L_b		Valeur réelle du facteur d'adaptation de polarisation, M_{ir} (dB)	
Valeur moyenne, m_{Lb} (dB)	Ecart type, s_{Lb} (dB)	Valeur moyenne, m_{Mir} (dB)	Ecart type, s_{Mir} (dB)
1	0,1	-0,880	0,1
Intensité du signal perturbateur, E_i		Limite applicable à la perturbation mesurée, E_{limit} (dB(μ V/m))	
Valeur moyenne, m_i (dB(μ V/m))	Ecart type, s_i (dB)		
21,948	0,1	23,7496	

TABLEAU 2 (fin)

Distance de mesure, d (m)	Distance moyenne entre la source de la perturbation et l'antenne de réception, r (m)
3	20
Exposant qui détermine le taux réel d'affaiblissement en espace libre, x (1 ou 1~1,5)	Rapport de protection, R_p (dB)
1	9
$a = Pr\{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$	$b = Pr\{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0,84	0,84

5.1.3 Modèle du CISPR pour les fréquences supérieures à 1 GHz

Pour les fréquences supérieures à 1 GHz, sept probabilités ou facteurs d'influence sont pris en considération dans la Publication 16-4-4 du CISPR. On obtient toutefois le modèle de brouillage statistique en utilisant, de manière analogue au § 5.1.2, la formule suivante:

$$E_{Limit} = m_w - R_p + m_{P1} + m_{P2} + m_{P3} + m_{P4} + m_{P5} + m_{P6} + m_{P7} + t_b s_i - t_a (s_{P1}^2 + s_{P2}^2 + s_{P3}^2 + s_{P4}^2 + s_{P5}^2 + s_{P6}^2 + s_{P7}^2)^{1/2} \quad (20)$$

- E_{Limit} : valeur moyenne de l'intensité admissible de la perturbation à une distance déterminée, d , par rapport à la source de la perturbation;
- m_w : valeur minimale de l'intensité du signal utile à la limite de la zone de service du service de radiocommunication concerné;
- R_p : valeur minimale acceptable du rapport signal/perturbation (rapport de protection) au port d'antenne ou au point d'alimentation du récepteur;
- m_{P1}/s_{P1} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles le lobe principal de l'intensité de la perturbation n'est pas dans la direction du récepteur brouillé;
- m_{P2}/s_{P2} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles le gain maximal de l'antenne de réception directive n'est pas dans la direction de la source de la perturbation;
- m_{P3}/s_{P3} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles le rapport signal/bruit d'un récepteur mobile dans une zone de service radio donnée peut être amélioré en maintenant une certaine distance par rapport à la source de la perturbation;
- m_{P4}/s_{P4} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type de la marge pour lesquelles le signal perturbateur est inférieur à la limite;
- m_{P5}/s_{P5} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles le type de signal perturbateur généré aura une incidence importante sur le système de réception;
- m_{P6}/s_{P6} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles la source de la perturbation est située à une distance du système de réception en deçà de laquelle un brouillage est susceptible de se produire;
- m_{P7}/s_{P7} : valeurs attendues de la moyenne et de l'écart type pour lesquelles les bâtiments assurent un certain affaiblissement additionnel.

Dans la Publication 16-4-4 du CISPR, m_{P5} est calculé comme suit:

a) $B_{want} < B_{noise} < B_{meas}$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{noise})$$

où:

B_{want} : largeur de bande du récepteur radio considéré pour le signal utile

B_{noise} : largeur de bande de la perturbation large bande

B_{meas} : largeur de bande de mesure de l'appareil de mesure.

Les relations sont les suivantes:

b) $B_{meas} < B_{noise} < B_{want}$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{noise}/B_{meas})$$

c) $B_{noise} > B_{meas}$ et B_{want} , respectivement,

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{meas})$$

La valeur de m_{P6} est obtenue par le calcul de $x \cdot 20 \log(r/d)$ et les valeurs exactes des autres paramètres utilisés dans la formule (20) ne sont malheureusement pas connus. Des expériences pratiques devraient permettre de déterminer les paramètres autres que m_{P5} et m_{P6} .

Le Tableau 3 donne un exemple représentatif de limite calculée sur la base du modèle du CISPR au-dessus de 1 GHz.

TABLEAU 3

Exemple de limite calculée sur la base du modèle du CISPR au-dessus de 1 GHz

Intensité réelle du signal utile, (E_w)		Gain de la source de la perturbation, P_1 (dB)	
Valeur moyenne, m_w (dB(μ V/m))	Ecart type, s_w (dB)	Valeur moyenne, m_{P1} (dB)	Ecart type, s_{P1} (dB)
16	2	3	0,1
Gain de l'antenne du récepteur brouillé, P_2 (dB)		Le récepteur brouillé est mobile, P_3 (dB)	
Valeur moyenne, m_{P2} (dB)	Ecart type, s_{P2} (dB)	Valeur moyenne, m_{P3} (dB)	Ecart type, s_{P3} (dB)
3	0,1	5	0,1
Rayonnements au-dessous de la limite, P_4 (dB)		Type de correction des rayonnements large bande, P_5 (dB)	
Valeur moyenne, m_{P4} (dB)	Ecart type, s_{P4} (dB)	Valeur moyenne, m_{P5} (dB)	Ecart type, s_{P5} (dB)
1	0,1	1,000	0,1
Distance au récepteur brouillé, P_6 (dB)		Affaiblissement dû aux bâtiments, P_7 (dB)	
Valeur moyenne, m_{P6} (dB)	Ecart type, s_{P6} (dB)	Valeur moyenne, m_{P7} (dB)	Ecart type, s_{P7} (dB)
16,478	0,1	4,000	0,1
Limite applicable à la perturbation mesurée, E_{Limit} (dB(μ V/m))			
40,3398			

TABLEAU 3 (fin)

Distance de mesure, $d(m)$		Distance moyenne entre la source de la perturbation et l'antenne de réception, $r(m)$
3		20
Exposant qui détermine le taux réel d'affaiblissement en espace libre, x (1 ou 1~1,5)		Rapport de protection, $R_p(dB)$
1		9
$a = Pr \{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$		$b = Pr \{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0,84		0,84
S_i		
0,1		
B_w, B_n, B_m, m_{p5}		
$B_w < B_n < B_m$	$B_m < B_n < B_w$	$B_m < B_n$ ou $B_m < B_n$
$10 \log_{10}(B_w/B_n)$	$10 \log_{10}(B_n/B_m)$	$10 \log_{10}(B_w/B_m)$

* B_w : largeur de bande du récepteur radio considéré pour le signal utile.

B_n : largeur de bande de la perturbation large bande.

B_m : largeur de bande du récepteur de mesure.

5.2 Examen des limites du CISPR

La Publication 11 du CISPR présente les limites des rayonnements émis par les appareils ISM en termes d'amplitude des vecteurs de champ magnétique ou électrique. Les mesures relatives aux limites sont réalisées dans le mode de détection spécifique du récepteur de mesure, à savoir détection de crête, de quasi-crête, de moyenne et pondérée. Afin de déterminer si ces limites permettent de protéger les services de radiocommunication vis-à-vis des appareils ISM, il est nécessaire de convertir l'intensité du champ exprimée en $(dB(\mu V/m))$ en puissance reçue exprimée en dBm.

$$P_R(dBm) = E(dB(\mu V/m)) + G_R(dBi) - 20 \log F(MHz) - 77,2 \quad (21)$$

où:

P_R : puissance reçue par la station radio (dBm)

G_R : gain de l'antenne de réception (dBi)

F : fréquence de réception de la station radio (MHz).

Les limites indiquées dans la Publication 11 du CISPR sont classées par catégories reposant sur des combinaisons des groupes 1 et 2 et des classes A et B. Les groupes 1 et 2 et les classes A et B sont définis aux § 4.1 et 4.2 de la Publication 11 du CISPR (Edition 4). Le groupe 1 et les classes A et B correspondent à des appareils ISM qui peuvent être placés à proximité de stations de radiocommunication, mais la plupart des appareils ISM fonctionnant à proximité de stations de radiocommunication appartiennent au groupe 2 et à la classe B.

Etant donné qu'on considère que les appareils ISM relevant du groupe 2 et de la classe B peuvent être utilisés à proximité de dispositifs de radiocommunication, le présent paragraphe porte sur les limites relatives à cette combinaison.

Les trois figures qui suivent illustrent les limites de rayonnement figurant respectivement dans les Tableaux 4, 7 et 8 de la Publication 11 du CISPR (Edition 4, juin 2004).

FIGURE 4

**Limites du champ magnétique pour le groupe 2 et la classe B au-dessous de 30 MHz
(distance de mesure de 10 m et mode de détection de quasi crête)**

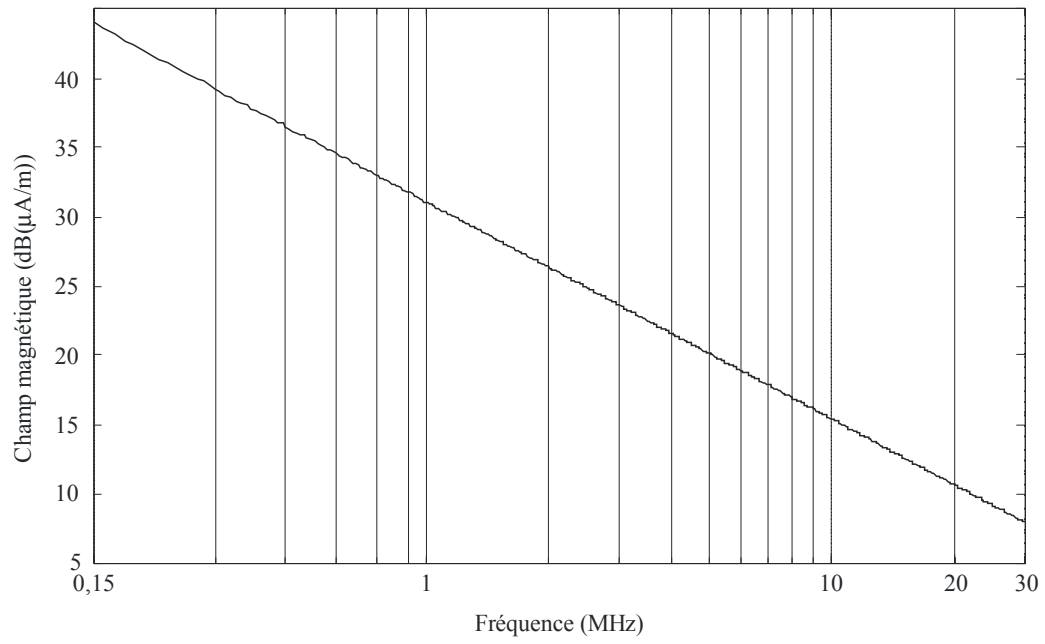
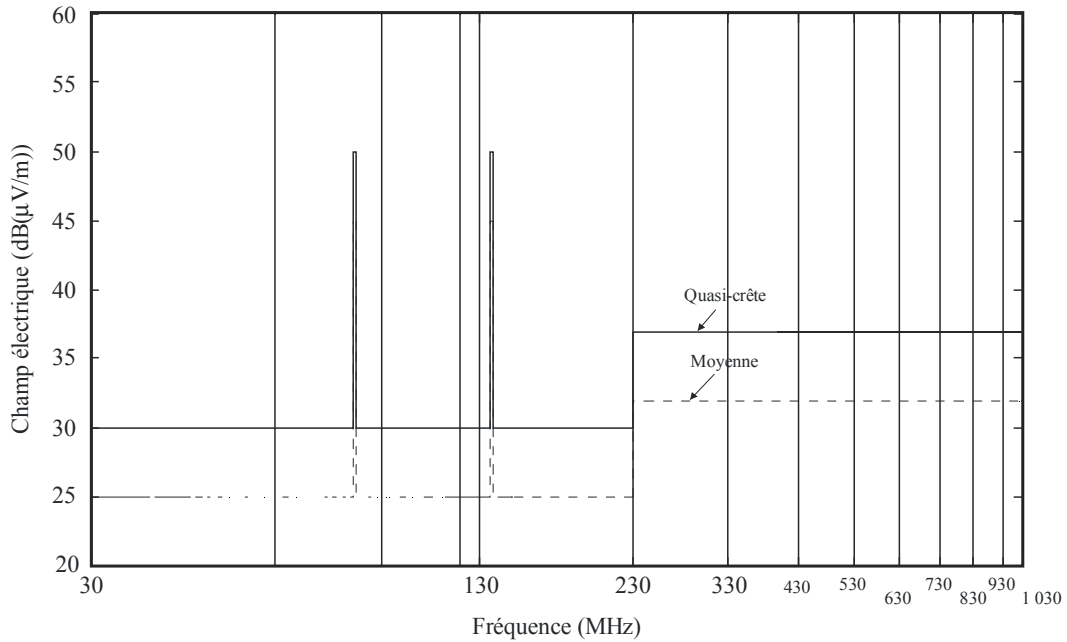


FIGURE 5

Limites du champ électrique pour le groupe 2 et la classe B entre 30 MHz et 1 GHz
 (distance de mesure de 10 m et mode de détection de quasi-crête ou de moyenne pour un appareil à magnétron)*

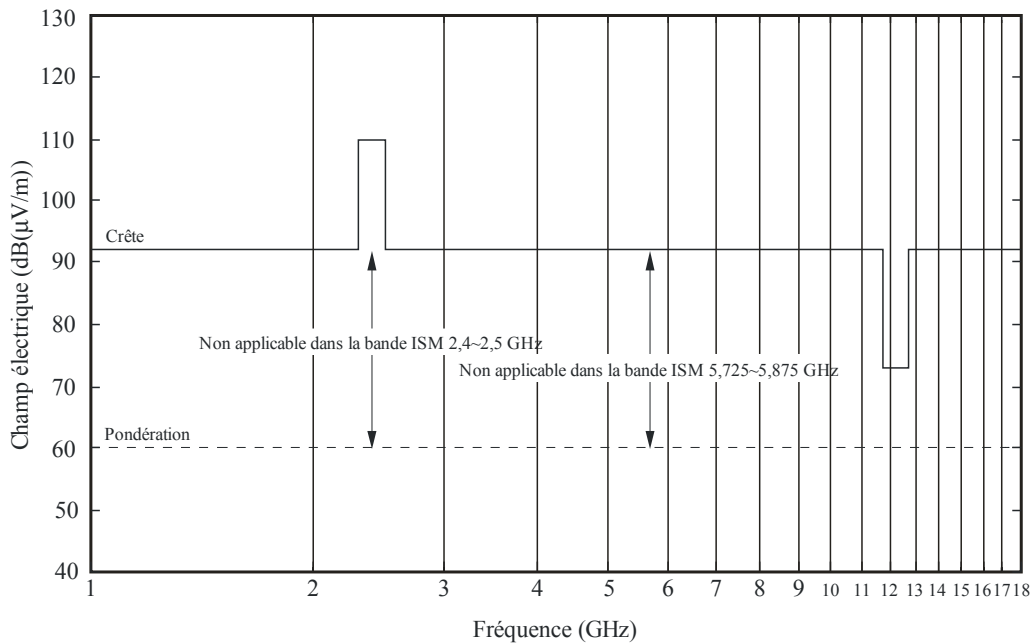


Rapport SM.2180-05

* A la transition, c'est la limite la plus stricte qui s'applique.

FIGURE 6

Limites du champ électrique pour le groupe 2 et la classe B entre 1 GHz et 18 GHz
 (distance de mesure de 3 m et mode de détection de crête*,**)



Rapport SM.2180-06

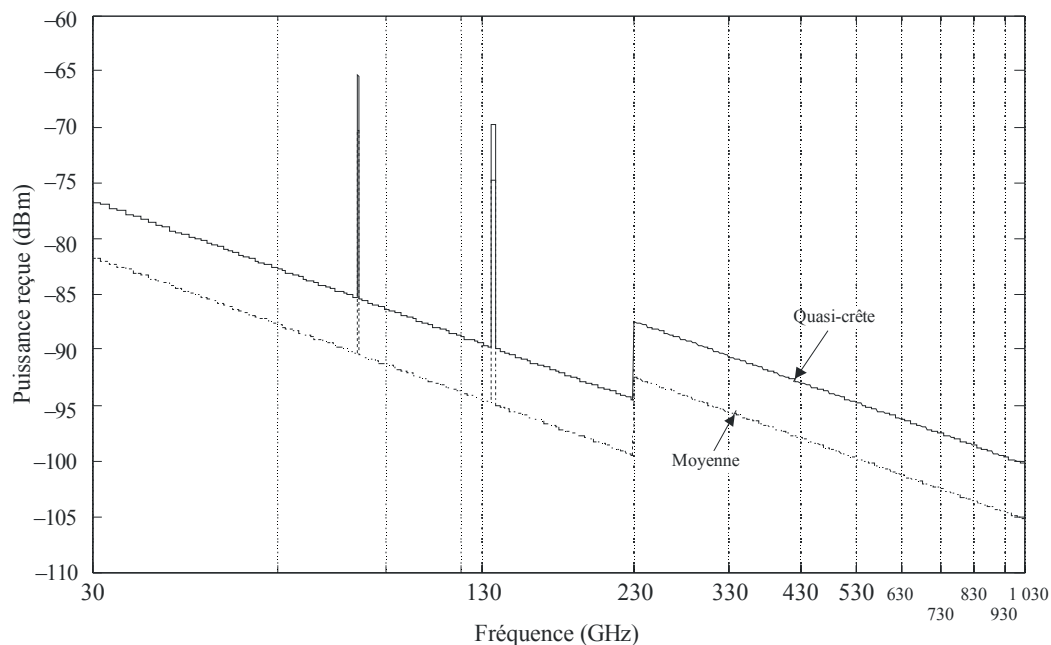
* La mesure de crête nécessite une largeur de bande de résolution de 1 MHz et une largeur de bande du signal vidéo supérieure ou égale à 1 MHz.

** Mesures pondérées avec une largeur de bande de résolution de 1 MHz et une largeur de bande vidéo de 10 Hz.

Les Fig. 7 et 8 présentent la puissance reçue par une station radio ayant un gain d'antenne de 0 dBi obtenue par application de la formule de conversion (20) uniquement en ce qui concerne les limites du champ électrique.

FIGURE 7

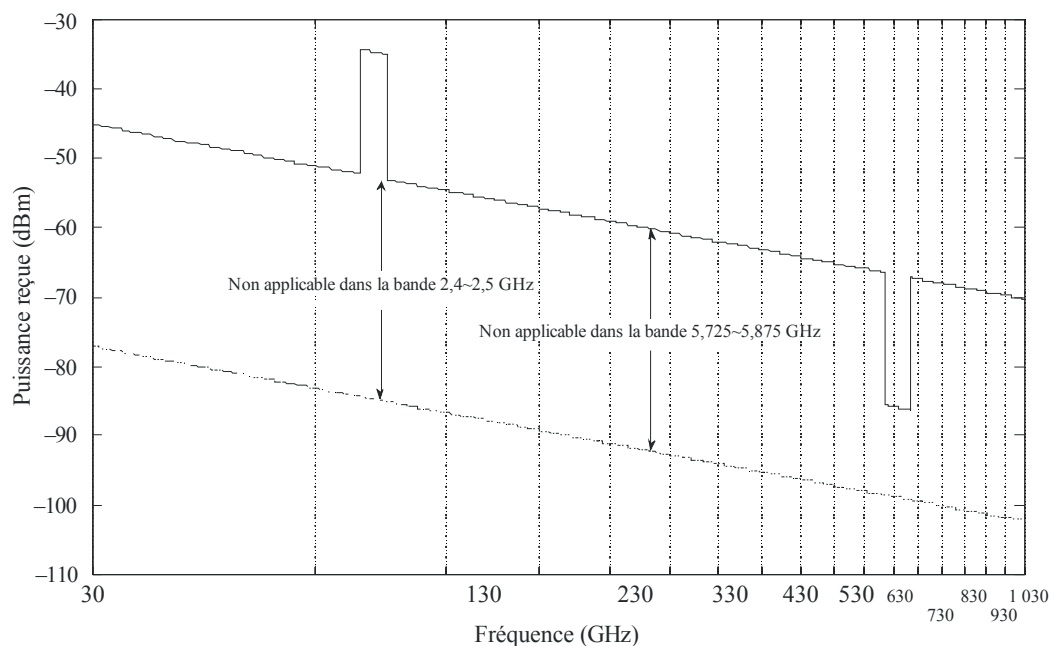
Conversion des limites du champ électrique pour le groupe 2 et la classe B entre 30 MHz et 1 GHz



Rapport SM.2180-07

FIGURE 8

Conversion des limites du champ électrique pour le groupe 2 et la classe B entre 1 GHz et 18 GHz



Rapport SM.2180-08

D'après la Fig. 8, la puissance reçue entre 2,3 et 2,4 GHz est élevée, comparée à celle qui est reçue dans les autres bandes de fréquences comprises entre 1 et 18 GHz, de sorte que des brouillages risquent d'être causés au service de radiocommunication. Dans la Publication 11 du CISPR, une note relative à la bande 2,3-2,4 GHz indique que les administrations exigeront peut-être des limites de rayonnement plus strictes que celles indiquées dans la Publication 11 du CISPR afin d'éviter que des brouillages préjudiciables soient causés au service de radiocommunication.

D'après des publications récentes concernant le brouillage électromagnétique, les limites de rayonnement actuellement définies par le CISPR ont été élaborées afin de protéger les services de radiocommunication analogiques et non les services de radiocommunication numériques. Le rapport signal/bruit est différent selon qu'il s'agit de services de radiocommunication analogiques ou de services de radiocommunication numériques. En ce qui concerne l'incidence des appareils ISM sur les services de radiocommunication numériques, l'UIT-R doit fournir au CISPR les caractéristiques et les critères de protection des systèmes de radiocommunication numériques. Il est donc nécessaire d'examiner si les limites actuellement indiquées dans la Publication 11 du CISPR permettent ou non de garantir une protection adéquate des récepteurs radio numériques.

5.3 Caractéristiques et critères de protection des services de radiocommunication

Afin d'évaluer la dégradation de la qualité de fonctionnement des services de radiocommunication due aux rayonnements générés par les appareils ISM, il est nécessaire de connaître les critères de protection et les caractéristiques techniques des systèmes de radiocommunication susceptibles d'être affectés. La Pièce jointe A8 du Rapport UIT-R SM.2057 (Etudes relatives à l'incidence des dispositifs utilisant des technologies ultra large bande sur les services de radiocommunication) contient des listes de Recommandations et Rapports pertinents de l'UIT-R mais il est possible que ces listes ne soient pas à jour car ces Recommandations et Rapports ont peut-être été modifiés en partie ou leur statut a changé. Cette pièce jointe contient également des caractéristiques techniques et des critères de protection de systèmes susceptibles d'être brouillés que divers Groupes de travail de l'UIT-R ont fourni dans des contributions ou dans des notes de liaison au cours de la période d'études. Ces caractéristiques et critères sont destinés à faciliter le calcul des brouillages causés par les dispositifs utilisant des technologies ultra large bande, mais ils peuvent aussi être utilisés pour l'étude des rayonnements des appareils ISM. Depuis, les groupes de travail responsables de l'UIT-R ont pu élaborer ou adopter des valeurs différentes.

Pendant l'étude des rayonnements des dispositifs à courte portée, le Groupe de travail 1A a reçu des autres Groupes de travail des critères de protection, des caractéristiques et des objectifs de qualité de service pour divers services, comme suit:

- Recommandation UIT-R SM.1754 – Techniques de mesure des émissions à bande ultralarge.
- Recommandation UIT-R SM.1755 – Caractéristiques de la technologie à bande ultralarge.
- Recommandation UIT-R SM.1756 – Cadre pour la mise en place de dispositifs recourant à la technologie à bande ultralarge.
- Recommandation UIT-R SM.1757 – Incidence des dispositifs recourant à la technologie à bande ultralarge sur les systèmes fonctionnant dans le cadre des services de radiocommunication.
- Recommandation UIT-R RS.1346 – Partage des fréquences entre le service des auxiliaires de la météorologie et les systèmes de communication des implants médicaux dans la bande 401-406 MHz du service mobile.
- Rapport UIT-R SM.2057 – Etudes relatives à l'incidence des dispositifs utilisant des technologies ultra large bande sur les services de radiocommunication.

- Recommandation UIT-R M.1739 – Critères de protection applicables aux systèmes d'accès hertzien, notamment aux réseaux locaux radioélectriques, exploités dans le service mobile conformément à la Résolution 229 (CMR-03) dans les bandes 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz et 5 470-5 725 MHz.
- Recommandation UIT-R M.1767 – Protection des systèmes mobiles terrestres vis-à-vis des systèmes de radiodiffusion vidéo et audio numériques de Terre dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques utilisées en partage à titre primaire.
- Recommandation UIT-R M.1823 – Caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes mobiles terrestres cellulaires numériques à utiliser dans les études de partage.
- Rapport UIT-R M.2039-1 – Caractéristiques des systèmes IMT-2000 de Terre pour les analyses de partage des fréquences et les analyses des brouillages, qui contient certains critères de protection comme des valeurs de rapport signal/bruit, des sensibilités de référence de récepteur et des seuils de brouillage pour les divers systèmes IMT-2000.
- Recommandation UIT-R BT.1786 – Critères d'évaluation de l'incidence des brouillages causés au service de radiodiffusion de Terre.
- Rapport UIT-R BS.2104 – Brouillages causés par les modulateurs MF aux services de radiodiffusion.
- Le GT 4A prépare actuellement un ensemble d'informations pertinentes relatives aux caractéristiques des systèmes du SFS et du SRS dans la gamme 3,4-31 GHz et aux objectifs de qualité de service associés afin de permettre au GT 1A de mener des études techniques visant à évaluer l'incidence des dispositifs à courte portée sur le SFS et le SRS et à étudier les moyens de garantir une protection adéquate de ces services (on trouvera dans la Pièce jointe au Document 1A/145 un ensemble d'informations préliminaires).
- Recommandation UIT-R RA.769 – Critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie.
- Recommandation UIT-R RA.314 – Bandes de fréquences préférées pour les mesures en radioastronomie.
- Recommandation UIT-R RA.517 – Protection du service de radioastronomie contre les émetteurs fonctionnant dans les bandes adjacentes.
- Recommandation UIT-R RA.611 – Protection du service de radioastronomie contre les rayonnements non essentiels.
- Recommandation UIT-R RA.1031 – Protection du service de radioastronomie dans les bandes de fréquences utilisées en partage avec d'autres services.
- Recommandation UIT-R RA.1237 – Protection du service de radioastronomie contre les rayonnements non désirés produits par des systèmes à modulation numérique à large bande.
- Recommandation UIT-R S.1432 – Répartition des dégradations admissibles de la qualité de fonctionnement en termes d'erreurs occasionnées à des conduits numériques fictifs de référence du service fixe par satellite par des brouillages non variables dans le temps pour des systèmes fonctionnant au-dessous de 30 GHz.

5.4 Mesures pratiques de rayonnements

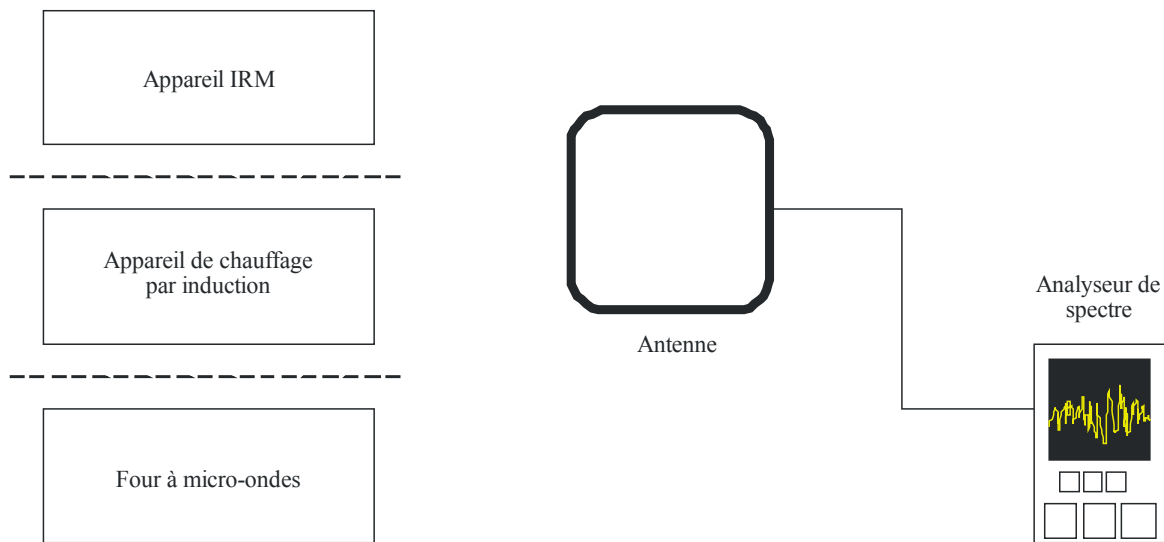
Le présent paragraphe porte sur les résultats de mesures de rayonnements émis par des appareils ISM dans les cas suivants:

1. appareils IRM;
2. appareils de chauffage par induction;
3. fours à micro-ondes.

Pour les mesures de la puissance des rayonnements émis par les appareils ISM, les conditions étaient les suivantes: les appareils IRM et les appareils de chauffage par induction étaient éteints ou allumés et le four à micro-ondes était à vide ou contenait 1 000 ml d'eau.

La configuration illustrée sur la Fig. 9 est utilisée dans des hôpitaux et dans des usines industrielles pour mesurer le signal ISM. Etant donné que l'objectif de ces mesures est d'observer uniquement le signal ISM reçu dans une situation réelle utilisée de manière simple, la méthode de mesure employée ne peut pas être appliquée pour la certification des appareils ISM. On sait toutefois que plusieurs méthodes de mesure sont disponibles pour la certification des appareils ISM, décrites par exemple dans les documents FCC OST MP-5, EN55011, etc.¹. Il est à noter qu'il faut suivre une certaine méthode de mesure pour obtenir des résultats de mesure qui puissent être validés. Un rapport de test est fortement recommandé pour valider les mesures.

FIGURE 9
Configuration pour les mesures



Rapport SM.2180-09

Une antenne cadre, une antenne directive active et une antenne cornet sont respectivement utilisées pour mesurer les rayonnements d'appareils IRM, d'appareils de chauffage par induction et de fours à micro-ondes.

5.4.1 Imagerie par résonance magnétique

Comme on le voit sur les photos présentées plus loin prises dans un hôpital utilisant un appareil IRM, les mesures ont été réalisées à l'aide d'une antenne cadre en mode de polarisation vertical ou horizontal, la distance entre l'appareil IRM et l'instrument de mesure étant d'environ 3 m.

Conformément aux spectres de mesure présentés dans la Pièce jointe 1, les résultats des mesures effectuées dans 5 hôpitaux sont les suivants:

Le Tableau 4 indique les fréquences auxquelles les rayonnements de chaque appareil ISM sont les plus élevés et précise les valeurs mesurées correspondantes de ces rayonnements dans chaque hôpital. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une antenne cadre à une distance de 3 m sauf dans l'un des sites. Le rayonnement ISM le plus élevé parmi les rayonnements produits par les

¹ Voir la référence [16].

appareils IRM est d'environ -34 dBm à 63,8 MHz. Ce signal ISM peut causer des brouillages préjudiciables au service de radiodiffusion à cette fréquence ou à d'autres services de radiocommunication de grande sensibilité utilisant la fréquence 63,8 MHz². Il convient de mener des études complémentaires pour déterminer l'incidence sur les services de radiocommunication à l'intérieur des hôpitaux car chaque service a ses propres critères de protection.

TABLEAU 4
Résultats de mesure pour des appareils IRM à 3 m*
(largeur de bande de résolution de 100 kHz)

	ETEINT		ALLUMÉ	
	Fréquence (MHz)	Valeur mesurée (dBm)	Fréquence (MHz)	Valeur mesurée (dBm)
Appareil IRM A	127,717	-70,40	127,782	-48,38
Appareil IRM B	63,85	-78,49	63,848	-34,36
Appareil IRM C	63,74	-70,15	63,83	-61,91
Appareil IRM D	62,50	-80,51	63,85	-51,69
Appareil IRM E⁽¹⁾	63,76	-73,68	63,86	-53,82

⁽¹⁾ La distance de mesure pour l'appareil IRM E est de 10 m.

5.4.2 Appareils de chauffage par induction

La Fig. 9 montre comment sont mesurés les rayonnements d'un appareil de chauffage par induction ayant une puissance de 50 kW ou de 3 kW à une distance de 3 m.

Les valeurs de rayonnement de $-43,58$ dBm et de $9,84$ dBm figurant dans le Tableau 5 montrent que les rayonnements des appareils de chauffage par induction sont susceptibles de perturber les services de radiocommunication car les sensibilités de nombreux récepteurs radio sont généralement comprises entre -100 dBm et -80 dBm.

TABLEAU 5
Résultats de mesure pour des appareils de chauffage par induction à une distance de 3 m
(largeur de bande de résolution de 100 kHz)

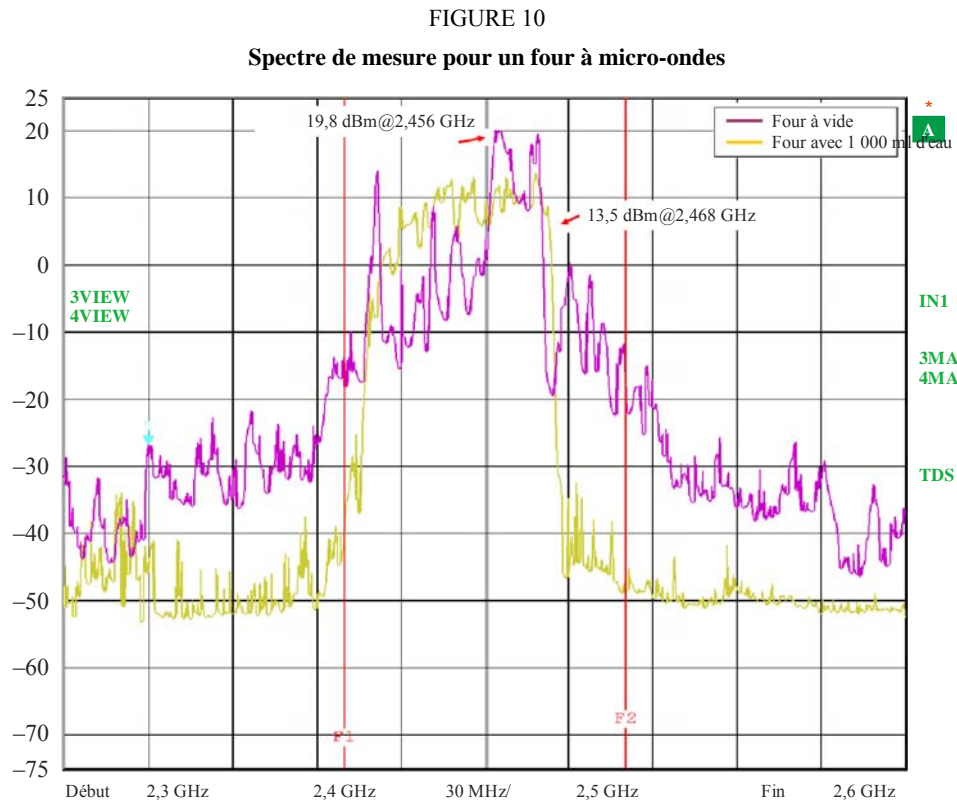
	ETEINT		ALLUMÉ	
	Fréquence (MHz)	Valeur mesurée (dBm)	Fréquence (MHz)	Valeur mesurée (dBm)
Appareil A de chauffage par induction	39,6	-74,03	20,7	-43,58
Appareil B de chauffage par induction	75,6	-56,37	25,23	9,84

² Ces mesures ont été réalisées in situ tandis que les spécifications figurant dans la Publication 11 du CISPR se rapportent à des rayonnements sur un site de test. Les valeurs correspondantes ne sont donc pas directement comparables.

Les spectres radioélectriques mesurés sont présentés en détail dans la Pièce jointe 2.

5.4.3 Four à micro-ondes

La Fig. 10 présente le spectre radioélectrique pour un four à micro-ondes d'une puissance de 1 250 W utilisé à vide/avec 1 000 ml d'eau. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une antenne cornet à une distance de 3 m dans une chambre semi-anéchoïde. Il ressort de la Fig. 10 que les lobes latéraux des deux spectres sont différents. Il est à noter que le four à micro-ondes contenant de l'eau respecte les limites de rayonnement établies dans la Publication 11 du CISPR.



La valeur de -35 dBm, observée au voisinage de 2,35 GHz sur la Fig. 10, peut causer des brouillages préjudiciables aux systèmes IMT utilisant des fréquences comprises entre 2,3 et 2,4 GHz. Par ailleurs, un rapport publié par la NTIA³ donne les caractéristiques des spectres radioélectriques produits par des fours à micro-ondes en dehors de la bande 2,4-2,5 GHz utilisée par les appareils ISM. Compte tenu de ces spectres, les fours à micro-ondes sont susceptibles de causer des brouillages aux systèmes IMT utilisant des fréquences comprises entre 2,3 et 2,4 GHz ou entre 2,5 et 2,69 GHz. Il est donc nécessaire de procéder à des études complémentaires visant à établir des limites strictes applicables aux fours à micro-ondes afin de protéger les systèmes IMT contre les rayonnements de ces fours.

³ Voir la référence [15].

6 Conclusion

Le présent rapport donne un aperçu de la méthode d'analyse des brouillages et des limites des rayonnements des appareils ISM établies par le CISPR. Etant donné que les limites de rayonnement contenues dans la Publication 11 du CISPR reposent sur le rapport signal/bruit applicable aux services de radiocommunication, elles jouent un rôle important en ce sens qu'elles permettent aux administrations de protéger de façon satisfaisante les services de radiocommunication contre les rayonnements produits par les appareils ISM.

Cependant, d'après des publications récentes concernant le brouillage électromagnétique, les limites de rayonnement actuellement définies par le CISPR ont été élaborées afin de protéger les services de radiocommunication analogiques et non les services de radiocommunication numériques. Le rapport signal/bruit est différent selon qu'il s'agit de services de radiocommunication analogiques ou de services de radiocommunication numériques. L'UIT-R est donc invité à fournir au CISPR les caractéristiques et les critères de protection des systèmes de radiocommunication numériques.

Références

- [1] J. Thuery and E.H. Grant, *Microwaves: Industrial, scientific, and medical applications*, Artech House, 1992.
- [2] M. Stuchly and S.S Stuchly, «Industrial, scientific, medical and domestic applications of microwaves,' physical science, measurement and equipmentation, management and education, reviews,» IEE Proc. A, Vol. 130, No. 8, pp. 467-503, novembre 1983.
- [3] J. Rolomey, «Recent European developments in active microwave imaging for industrial, scientific, and medical applications,» IEEE Trans. Microwave theory, Vol. 37, No. 12, pp. 2109-2117, décembre 1998.
- [4] S. Miyamoto, «Performance of 2.4 GHz-band wireless LAN system using orthogonal frequency division multiplexing scheme under microwave oven noise environment,» in proc. electromagnetic compatibility international symposium, août 2005, pp.157-162.
- [5] Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, «Performance analysis of interference problems involving DS-SS WLAN systems and microwave ovens,» IEEE Trans. electromagnetic compatibility, Vol. 47, No. 1, pp. 45-53, février 2005.
- [6] W. R. Vincent and G. K. Lott, «Measurements of Extensive HF Industrial, Scientific, and Medical Interference far Removed from the ITU Allocated Bands,» in Proc. HF Radio Systems and Techniques, juillet 1994, pp. 155-158.
- [7] ANSI, IEEE recommended practice for the measurement of radio frequency emission from industrial, scientific, and medical (ISM) equipment installed on user's premises, IEEE Std 139-1988, mars 1993.
- [8] P.B. Kenington and D.W. Bennett, «Field measurements study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment,» IEE Proc. Science, Measurement and Technology, Vol. 144, No. 3, pp. 134-140, mai 1997.
- [9] T.L. Wilson, «Electric process heating committee activities in international interference limits setting- a report,» IEEE Trans. Industry Applications, Vol. IA-23, No. 1, pp. 90-94, janvier 1987.
- [10] S. Krishnamoorthy, J.H. Reed, C.R. Anderson, P. Robert, and S. Srikanteswara, «Characterization of the 2.4 GHz ISM band electromagnetic interference in a hospital environment,» in IEEE proc. engineering in medicine and biology society, septembre 2003, pp. 3245-3248.

- [11] P.B. Kenington and D.W. Bennett, «Study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment,» in proc. electromagnetic compatibility, septembre 1997, pp. 6-11.
- [12] D. Bernard, «Measurement of microwave ovens radiation between 1 & 18 GHz in relation with the CISPR standardisation activities,» in proc. electromagnetic compatibility, août 1997, pp. 118-122.
- [13] UIT-R, Règlement des radiocommunications, 2007.
- [14] UIT-R, Limitation des rayonnements provenant des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM), Recommandation UIT-R SM.1056-1, 2007.
- [15] P.E. Gawthrop, F.H. Sanders, K.B. Nebbia, and J.J. Sell, Radio spectrum measurements of industrial microwave ovens, Volume 1, NTIA Report 94-303-1, mars 1994.
- [16] FCC, FCC Methods of measurements of radio noise emissions from industrial, scientific, and medical equipment, FCC/OST MP-5, février 1986.
- [17] CISPR, Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure, Publication 11 du CISPR Edition 4, juin 2004 (révisée en mai 2010, Edition 5).
- [18] CISPR, Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services, Publication 16-4-4 du CISPR, juillet 2007.
- [19] K. Willundh, «Relation Between the Amplitude Probability Distribution of an Interfering Signal and its Impact on Digital Radio Receivers,» IEEE Trans. EMC, Vol. 48, No. 3, pp. 537-544, août 2006.
- [20] P. F. Stenumgaard, «On Radiated Emission Limits for Pulsed Interference to Protect Modern Digital Wireless Communication Systems,» IEEE Trans. EMC, Vol. 49, No. 4, pp. 931-936, novembre 2007.

Pièce jointe 1

Résultats de mesure pour des appareils IRM

La présente pièce jointe contient les spectres radioélectriques produits par cinq appareils IRM lorsqu'ils sont éteints ou allumés.

FIGURE 11

Exemple de mesure des rayonnements d'un appareil IRM



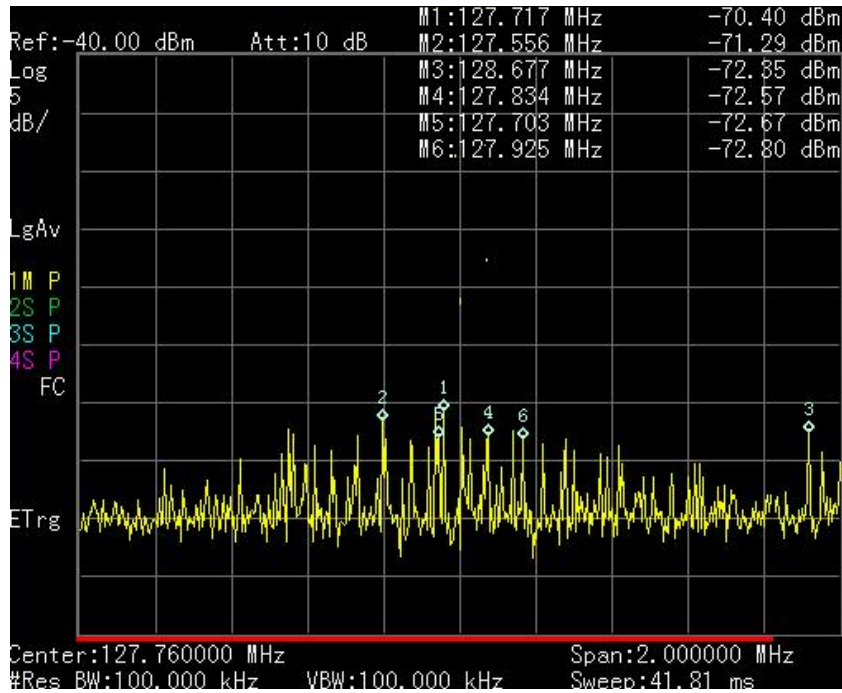
a) Polarisation verticale



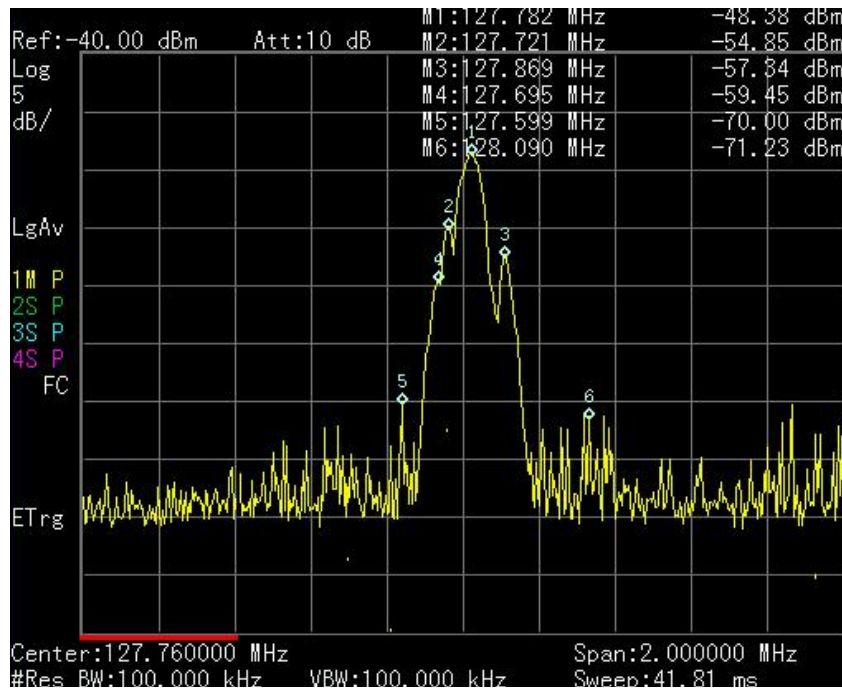
b) Polarisation horizontale

FIGURE 12

Spectre radioélectrique produit par l'appareil IRM A



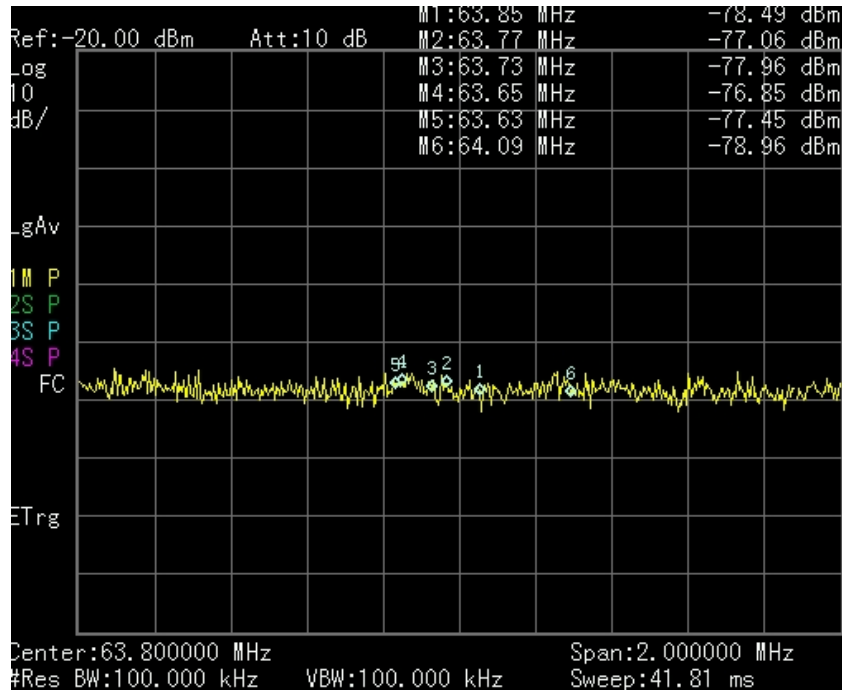
a) Eteint



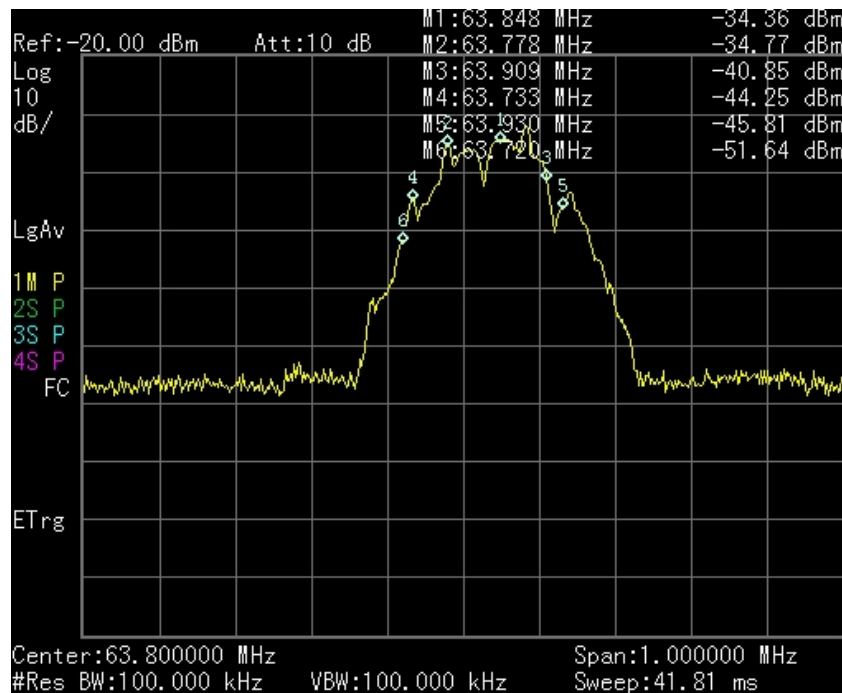
b) Allumé

FIGURE 13

Spectre radioélectrique produit par l'appareil IRM B



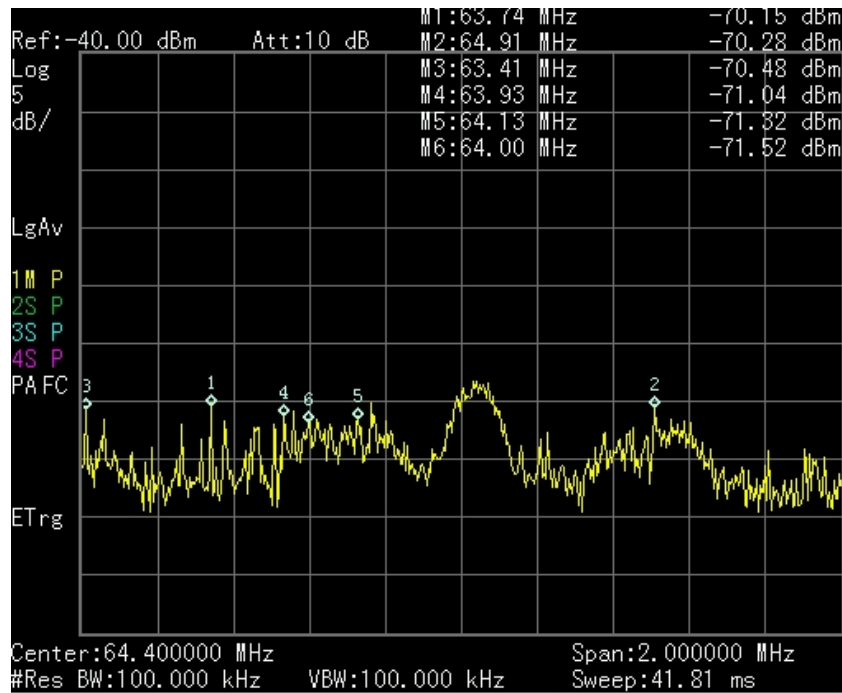
a) Eteint



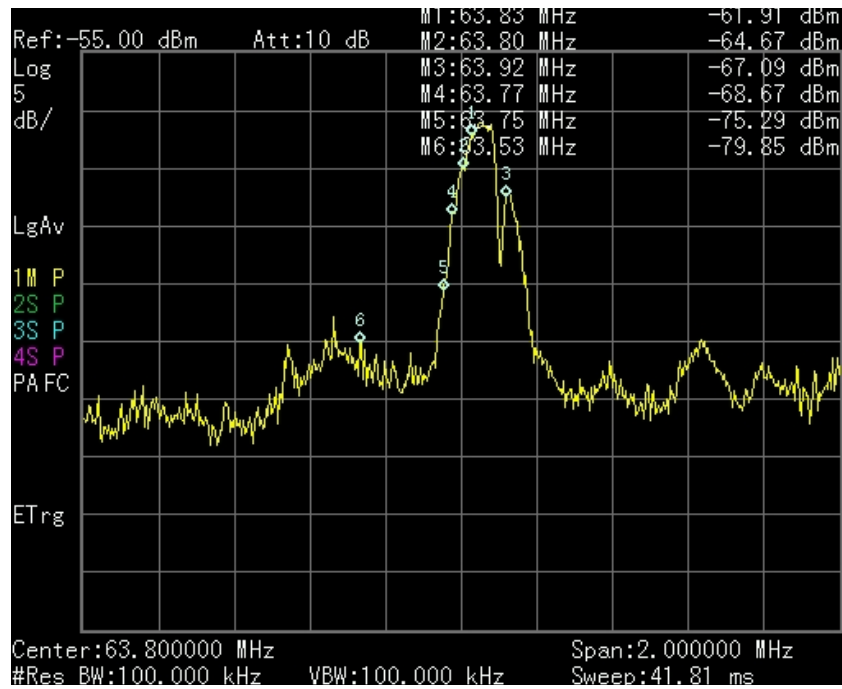
b) Allumé

FIGURE 14

Spectre radioélectrique produit par l'appareil IRM C



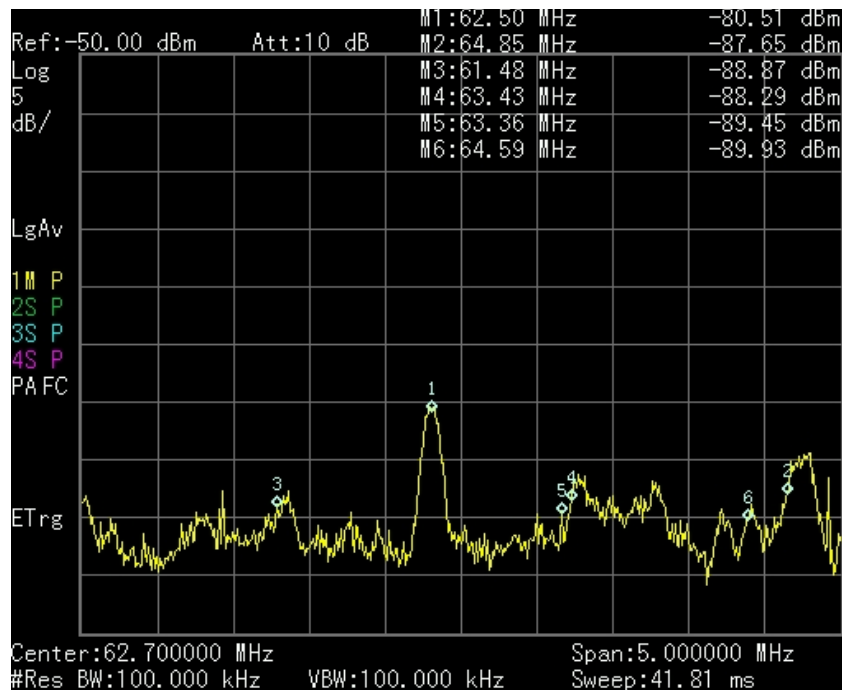
a) Eteint



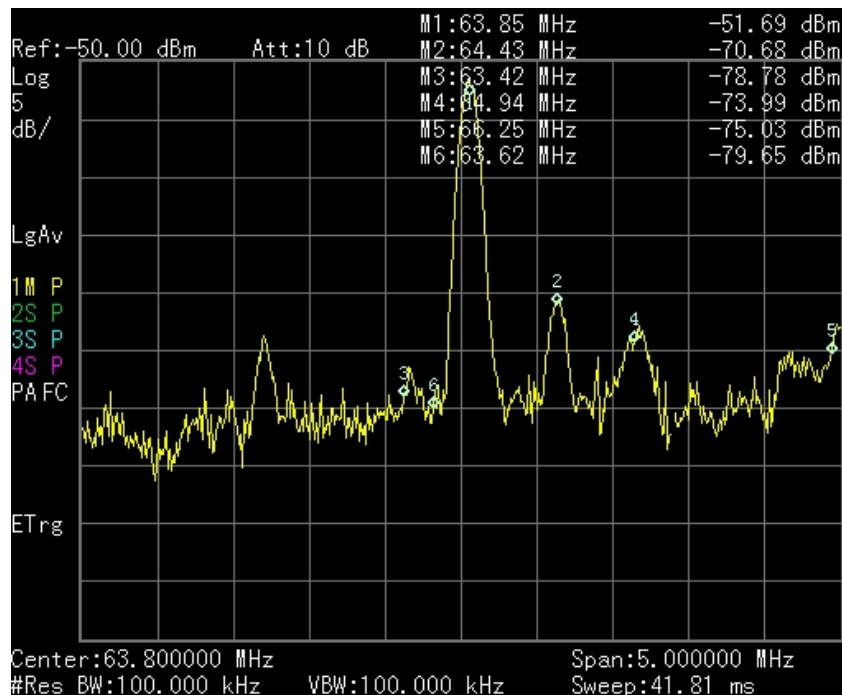
b) Allumé

FIGURE 15

Spectre radioélectrique produit par l'appareil IRM D



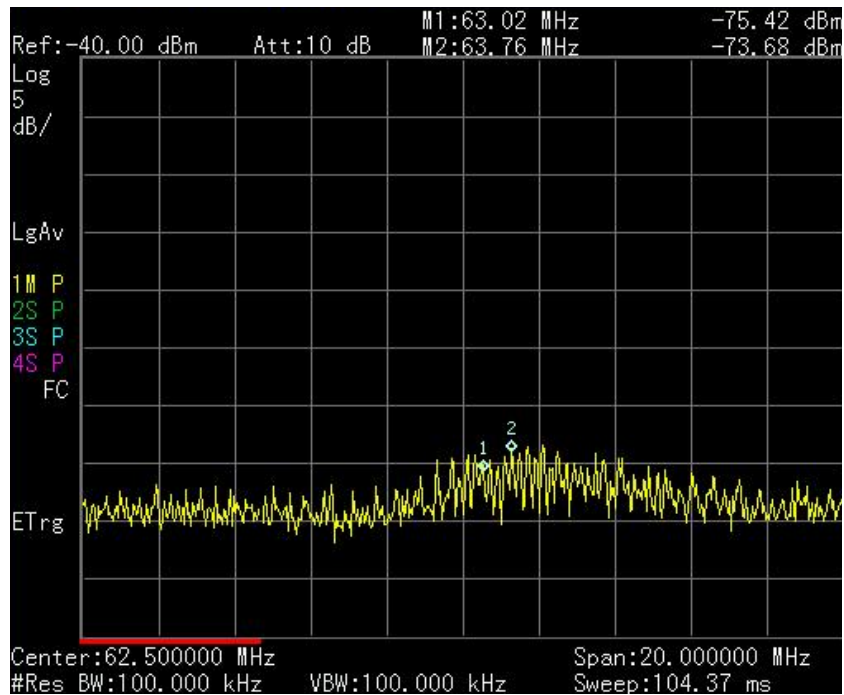
a) Eteint



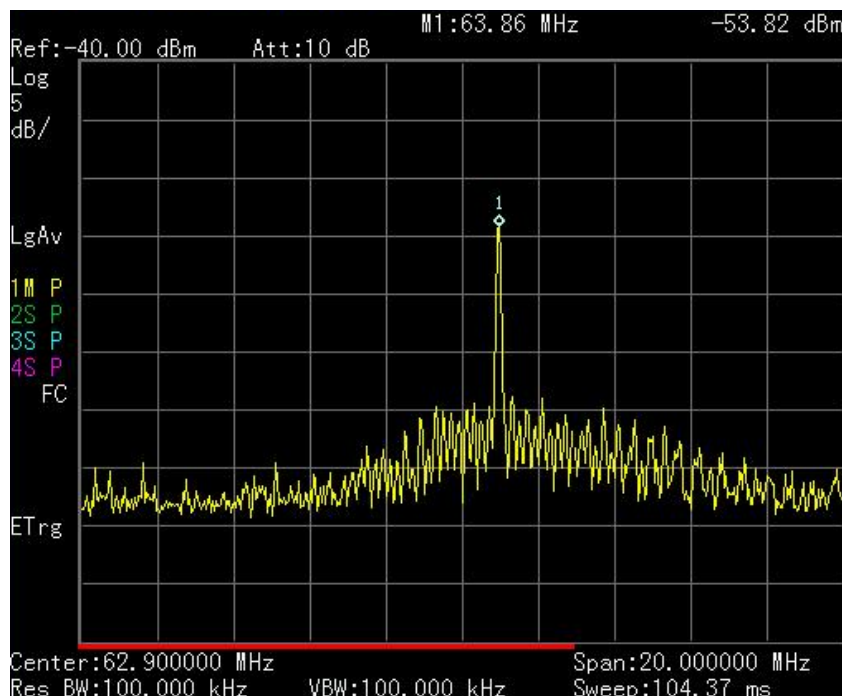
b) Allumé

FIGURE 16

Spectre radioélectrique produit par l'appareil IRM E



a) Eteint



b) Allumé

Pièce jointe 2

Résultats de mesure pour des appareils de chauffage par induction

La présente pièce jointe contient les spectres radioélectriques produits par deux appareils de chauffage par induction lorsqu'ils sont éteints ou allumés.

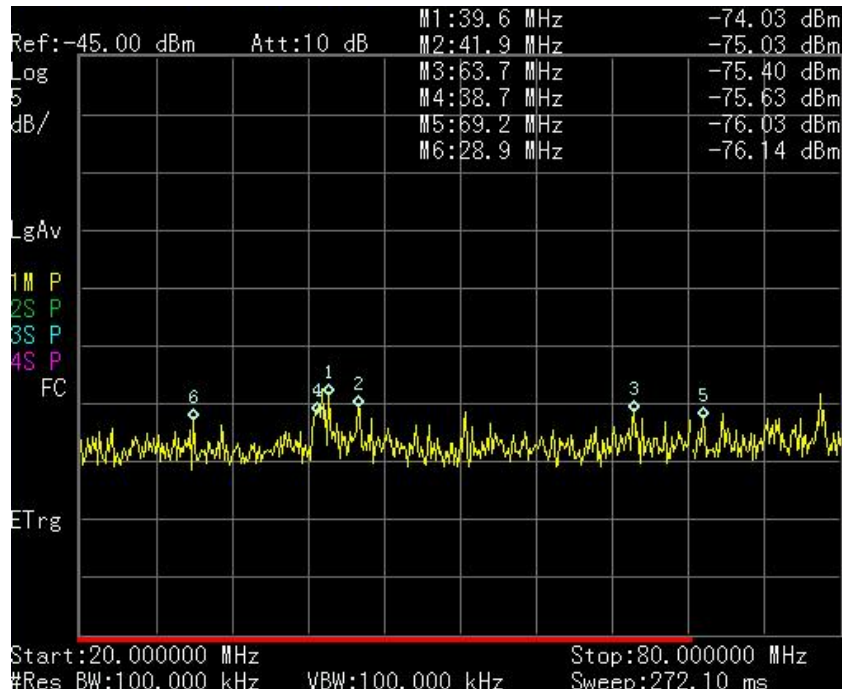
FIGURE 17

Exemples d'appareils de chauffage par induction

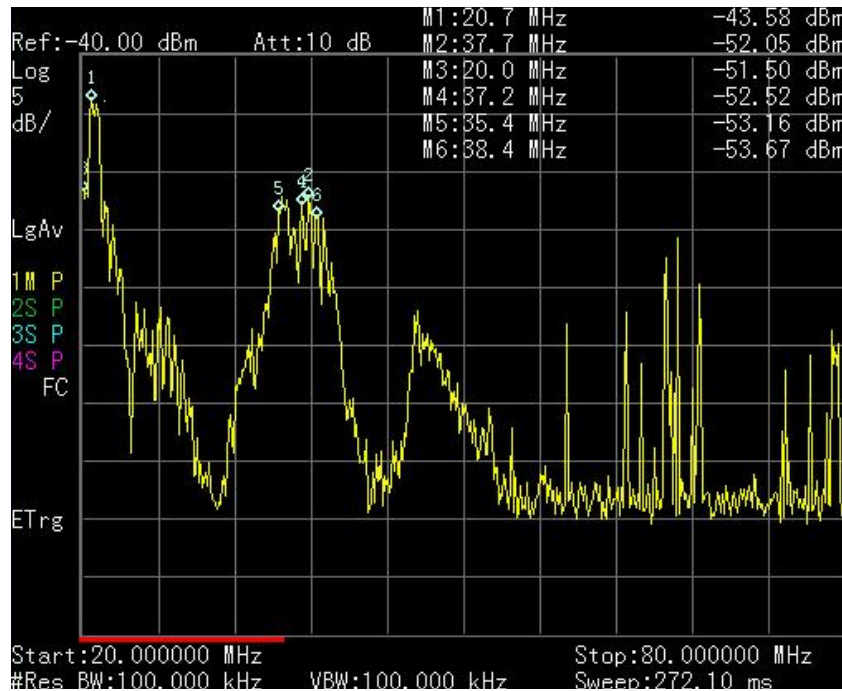


FIGURE 18

Spectre radioélectrique produit par l'appareil de chauffage par induction A



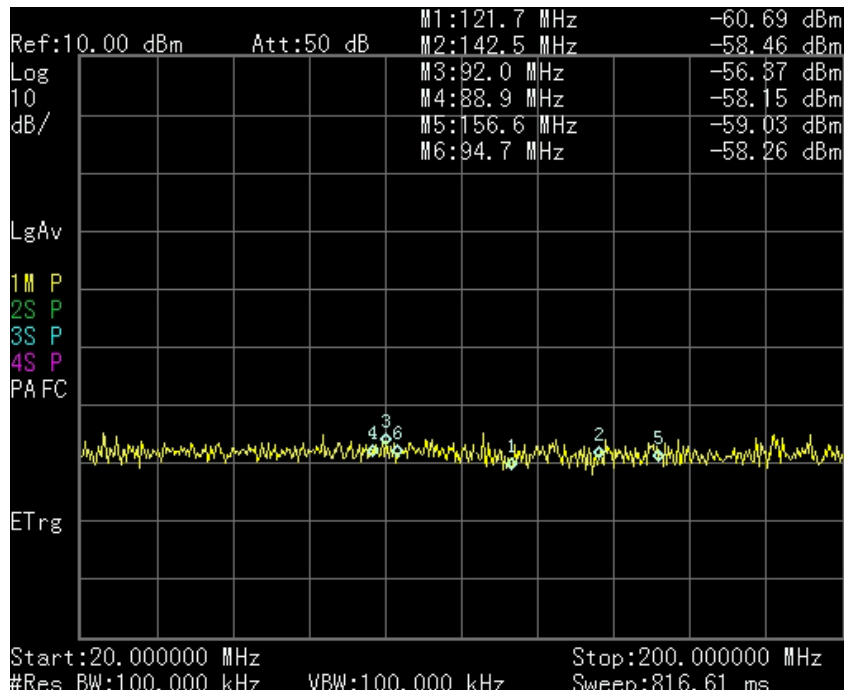
a) Eteint



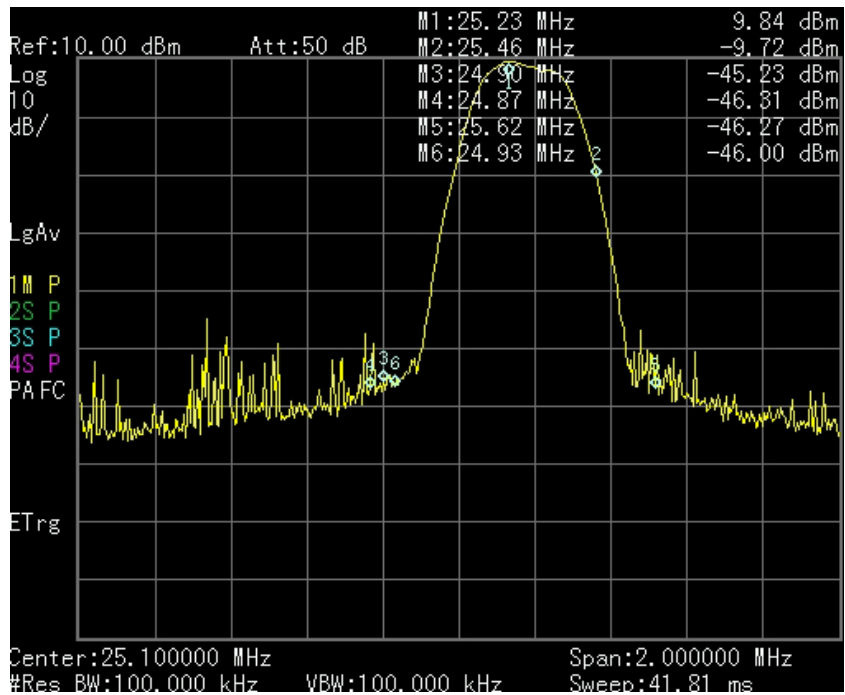
b) Allumé

FIGURE 19

Spectre radioélectrique produit par l'appareil de chauffage par induction B



a) Eteint



b) Allumé