



Rapport UIT-R SM.2503-0
(07/2022)

**Évaluation des perturbations
électromagnétiques par rayonnement
provenant d'équipements électroménagers
et de leurs brouillages sur un réseau de
l'Internet des objets dans la bande de
fréquences des 915 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 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 œuvre 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

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

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

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

Publication électronique
Genève, 2023

© UIT 2023

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque moyen que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2503-0

Évaluation des perturbations électromagnétiques par rayonnement provenant d'équipements électroménagers et de leurs brouillages sur un réseau de l'Internet des objets dans la bande de fréquences des 915 MHz

(2022)

Domaine d'application

Les dispositifs électroniques et les réseaux qui leur sont associés, y compris ceux qui ne sont pas utilisés pour les télécommunications, peuvent entraîner des perturbations électromagnétiques considérables qui peuvent avoir des incidences sur les fonctionnalités des systèmes de télécommunication actuels et futurs, tels que l'Internet des objets (IoT), et leurs applications. Le présent Rapport vise à évaluer les niveaux de perturbations électromagnétiques générées par les appareils électroménagers et les incidences de ces brouillages sur le fonctionnement d'un réseau de capteurs sans fil (WSN) exploité dans la bande de fréquences des 915 MHz dans certaines administrations, ce système étant couramment utilisé dans le cadre de l'IoT en raison de sa souplesse technique et de son coût peu élevé. Les travaux ont été divisés en trois étapes. La première étape a consisté à évaluer les perturbations électromagnétiques provenant des appareils électroménagers, la deuxième étape, à caractériser le réseau WSN en évaluant l'indication de puissance du signal reçu (RSSI) et le taux d'erreur sur les paquets (PER), et enfin la troisième étape, à évaluer l'indication RSSI et le taux PER avec l'insertion de l'appareil électroménager dans l'essai. Les résultats ont montré que les appareils considérés ne respectaient pas les limites normatives et portaient atteinte de manière significative au fonctionnement d'un réseau WSN.

Sigles et acronymes

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas (Association brésilienne des normes techniques)
CEI	Commission électrotechnique internationale
CISPR	Comité international spécial des perturbations radioélectriques
NBR	Norma Brasileira (norme brésilienne)
PER	taux d'erreur sur les paquets (<i>packet error rate</i>)
RSSI	indication de l'intensité du signal reçu (<i>received signal strength indication</i>)
SAC	chambre semi-anéchoïque (<i>semi-anechoic chamber</i>)
V CA	volts en courant alternatif
WSN	réseau de capteurs sans fil (<i>wireless sensor network</i>)

1 Introduction

Les équipements électriques et électroniques modernes et les réseaux qui leur sont associés, y compris ceux qui ne sont pas destinés à être utilisés pour les télécommunications, peuvent entraîner des perturbations électromagnétiques conséquentes.

Ces perturbations sont liées aux capacités opérationnelles des systèmes électroniques, à la présence de sources d'alimentation en mode commutation, aux charges non linéaires, aux dispositifs électromagnétiques et aux circuits logiques, pour ne citer que ces exemples. Ces effets électriques peuvent se manifester sous la forme de rayonnements et d'effets de conduction qui, s'ils ne sont pas atténués à la source, peuvent perturber et gêner le spectre électromagnétique.

La situation pourrait être à l'origine de graves problèmes dans les environnements résidentiels, où les équipements électriques/électroniques, de par leur densité, leur quantité et leur diversité, ainsi que les réseaux qui leur sont associés, peuvent influencer directement sur les fonctionnalités des services de radiocommunication dans la zone de desserte des utilisateurs ou des consommateurs.

La présente étude a consisté à évaluer le comportement d'un réseau WSN lorsqu'il est soumis aux perturbations causées par des appareils ménagers, en analysant l'indication RSSI et le PER.

Les travaux ont été divisés en trois étapes. La première étape a consisté à mesurer les émissions électromagnétiques des appareils ménagers. Ensuite, la caractérisation d'un réseau WSN a été effectuée sur la base de l'indication RSSI et du PER. Enfin, le réseau WSN a fait l'objet d'une évaluation selon les mêmes critères lorsque les appareils ménagers ont été insérés dans l'essai.

2 Équipements et installations

Toutes les mesures ont été effectuées à l'intérieur d'une chambre semi-anéchoïque d'ETS-LINDGREN, utilisable de 9 kHz à 220 GHz, avec un plateau tournant.

Deux antennes ont été utilisées, à savoir l'antenne UltraLog, modèle HL562E, pour les mesures de 30 MHz à 1 GHz, et l'antenne Double Ridged Guide, modèle 3117, pour les mesures de 30 MHz à 6 GHz.

Le dispositif de mesure était un récepteur de contrôle de perturbation électromagnétique de Rohde & Schwarz, modèle ESIB 40, avec des largeurs de bande sélectionnables de 200 Hz, 9 kHz, 120 kHz et 1 MHz et des détecteurs de quasi-crêtes, crêtes et valeurs moyennes, conformément à la norme CEI CISPR 16-1.

Des atténuateurs variables de JFW Industries, modèles 50R-029 (de 0 à 70 dB avec une précision de 0,5 dB) et 50R-019 (de 0 à 10 dB avec une précision de 0,2 dB) ont été appliqués au réseau WSN. Un analyseur de réseau d'Agilent Technologies, modèle E5071B, a été utilisé pour évaluer ces atténuateurs.

Le module radioélectrique était un modèle BE900, homologué par Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações). Ce module permet une communication hertzienne pour les applications de surveillance et de contrôle utilisant la modulation 2-MDF avec un maximum de 250 kbit/s. Il comporte un processeur AVR ATmega328 programmable, un émetteur-récepteur RF CC1101 avec une puissance de sortie de 10 dBm, avec une sensibilité de -112 dBm avec 1% de PER, en utilisant un filtre passe-bande ajusté pour fonctionner dans les bandes de fréquences industrielles, scientifiques et médicales (ISM) 902-907,5 MHz et 915-928 MHz.

Les travaux portent sur les mesures effectuées avec deux mixeurs (220 Volts en courant alternatif (V CA) et 127 V CA) et un aspirateur comme appareils ménagers. En outre, un four à micro-ondes et un réfrigérateur ont été utilisés pour les mesures combinées. Ces appareils ont été sélectionnés car ils sont couramment utilisés dans des environnements résidentiels et étaient disponibles au moment des travaux de recherche. Ils ont été utilisés dans le but d'obtenir des résultats plus complets.

Les mesures ont été effectuées à l'*Instituto de Pesquisas Eldorado*, dans le cadre de travaux de recherche de cycle supérieur à l'*Universidade Pontifícia Universidade Católica de Campinas* de São Paulo (Brésil).

3 Méthodologie

Tout d'abord, la validation de la chambre semi-anéchoïque a été effectuée sur la base de la méthodologie présentée dans la norme NBR de l'Association brésilienne des normes techniques (ABNT) visant à mettre en œuvre la norme CEI/CISPR 22¹. L'analyse du bruit de fond a été effectuée au moyen du balayage du spectre avec des antennes de 1 à 4 mètres de hauteur, en position verticale et horizontale. Les atténuateurs ont également été analysés de 400 MHz à 1 000 MHz avec l'analyseur de réseau, afin d'obtenir les caractéristiques figurant sur la fiche technique.

Afin de mesurer les perturbations électromagnétiques par rayonnement, les appareils électroménagers ont été placés à 80 cm du sol sur une table en bois et au-dessus du plateau tournant, à une distance de 10 mètres de l'antenne de mesure, comme indiqué dans la Fig. 1.

Les mesures ont été effectuées dans la gamme de fréquences allant de 30 MHz à 1 GHz, conformément aux exigences figurant dans la norme CISPR 14-1, tandis que la norme CISPR 22 a été utilisée pour les mesures allant jusqu'à 6 GHz.

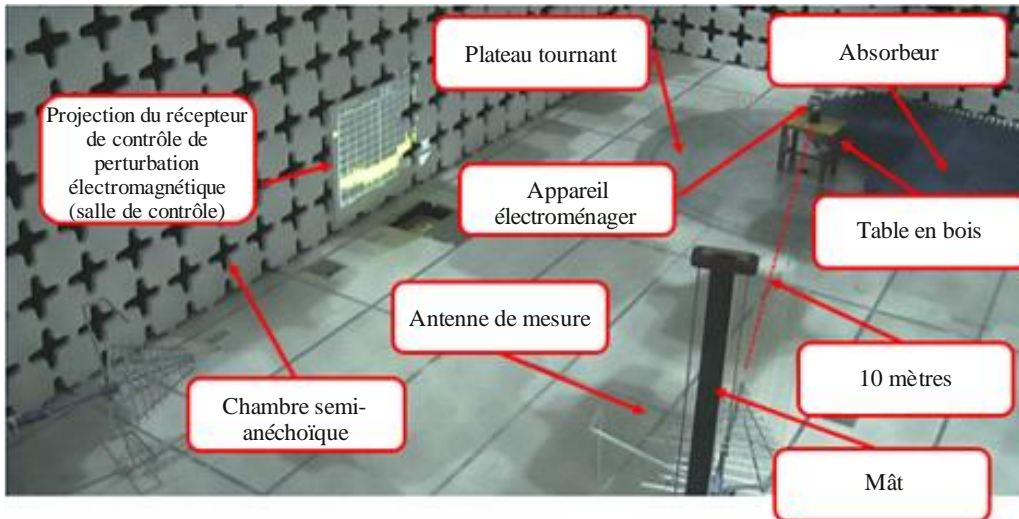
La première analyse a été effectuée au moyen d'un détecteur de crête, tandis que les mesures finales ont été fondées sur les valeurs de quasi-crêtes aux niveaux des crêtes situées au-dessus de la limite et à proximité des fréquences du réseau WSN, en particulier la bande de 915 MHz, compte tenu du diagramme figurant dans la Fig. B.1 dans la norme NBR de l'ABNT visant à mettre en œuvre la norme CEI/CISPR 22. Afin de réaliser ces mesures, le logiciel EMC32 de Rohde & Schwarz a été utilisé.

Pour évaluer le réseau WSN, un code de calcul a été créé en utilisant le langage de programmation Python. Un paquet de 52 octets a été envoyé par la série via la connexion USB de l'ordinateur à la base du réseau WSN. La détection a été effectuée au niveau du réseau WSN afin d'évaluer l'indication RSSI (en liaison montante et descendante) et le PER. Les deux éléments ont été placés à l'intérieur de la chambre semi-anéchoïque afin d'évaluer le comportement du réseau dans un environnement contrôlé, conformément à la Fig. 2. Les atténuateurs ont été insérés avant la base pour évaluer le niveau de sensibilité. L'ordinateur destiné à la collecte des données a été placé sous le sol de la chambre semi-anéchoïque, pour éviter qu'il n'influe sur les mesures. Le nœud capteur était placé à environ 4,5 mètres de la base, sur un trépied à 1 mètre du sol.

¹ Mise en œuvre de la publication CISPR 22 au Brésil.

FIGURE 1

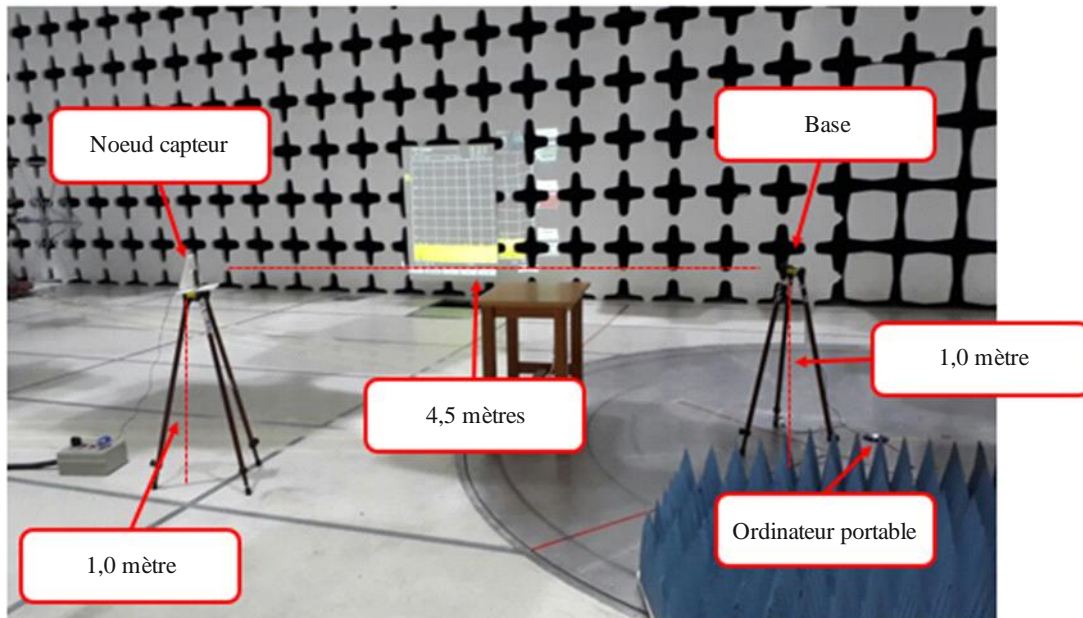
Configuration de test utilisée pour mesurer les perturbations électromagnétiques



Rapport SM.2503-1

FIGURE 2

Configuration du réseau WSN à l'intérieur de la chambre semi-anechoïque, sans les appareils électroménagers

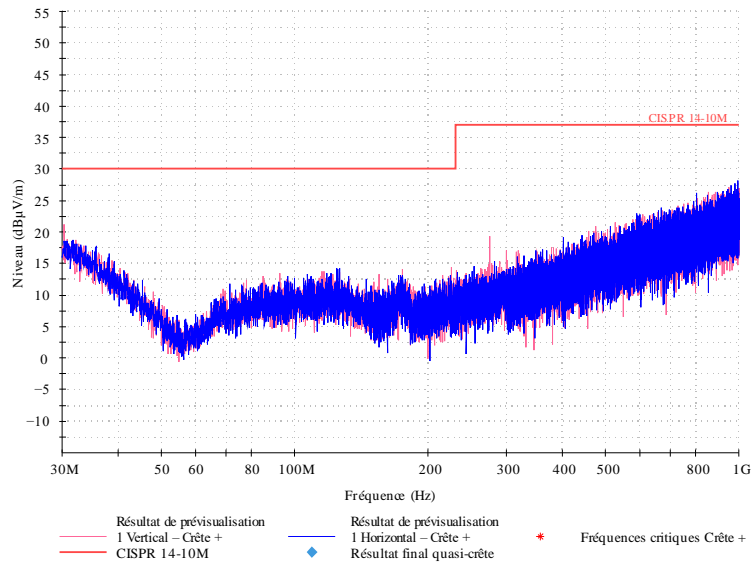


Rapport SM.2503-2

4 Mesure des perturbations

La Figure 3 montre le bruit de fond mesuré lorsque les appareils électroménagers sont éteints. Les Figures 4 à 7 présentent les résultats obtenus dans le cadre des mesures des perturbations électromagnétiques rayonnées lorsque les appareils électroménagers sont allumés.

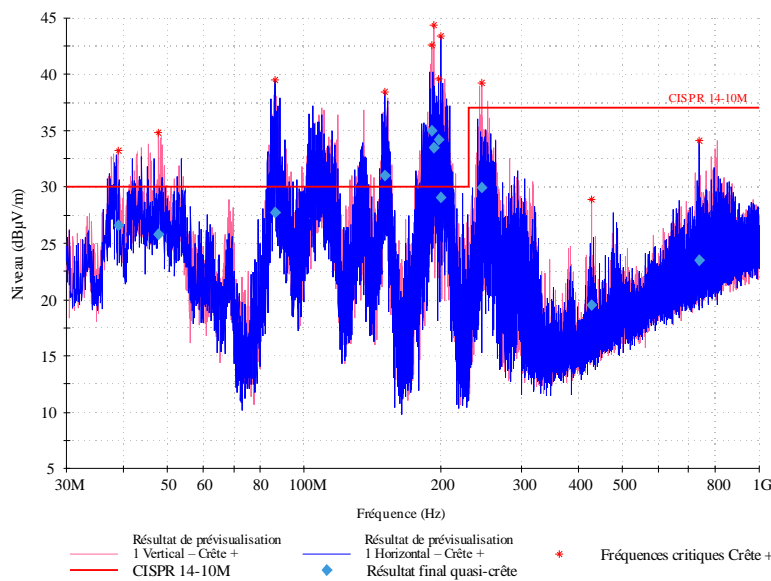
FIGURE 3
 Résultat de la mesure des perturbations – Bruit de fond



Rapport SM.2503-3

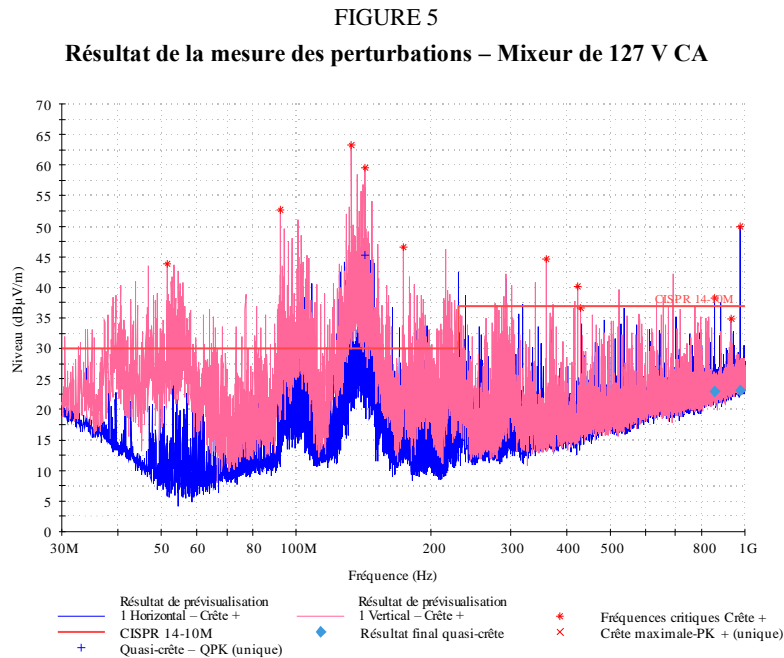
Comme le montre la Fig. 4, dans le cadre du balayage des crêtes, les valeurs obtenues dépassent la limite normative. Dans les fréquences proches de 150, 190, 193 et 197 MHz, les valeurs dépassaient la limite pour la mesure des quasi-crêtes, le niveau le plus élevé étant de 4,97 dB par rapport à la limite. Il est possible de conclure que cet aspirateur ne satisfait pas aux exigences établies dans la norme.

FIGURE 4
 Résultat de la mesure des perturbations – Aspirateur



Rapport SM.2503-4

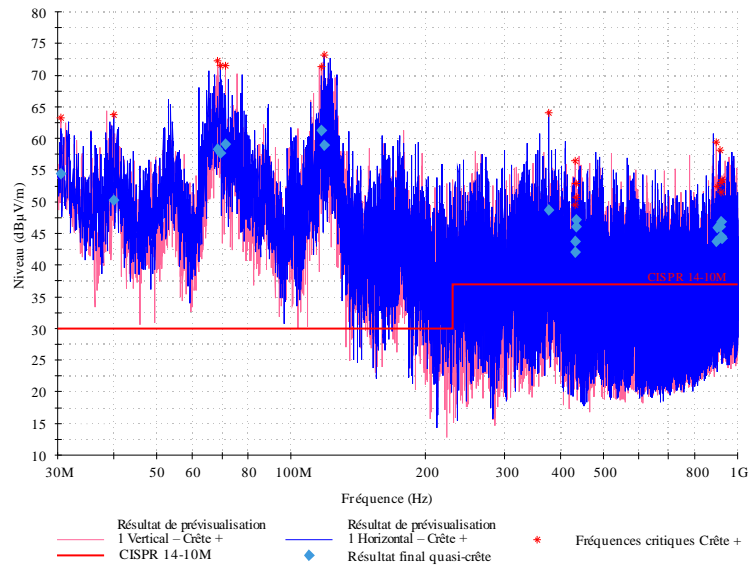
La Figure 5 présente la mesure des perturbations causées par un mixeur de 127 V en courant alternatif. Les valeurs obtenues dans le cadre du balayage de crête étaient supérieures à la limite normative. Lors de l'évaluation des mesures de quasi-crête, les valeurs étaient inférieures à la limite en se rapprochant de 900 MHz; cependant, l'évaluation doit prendre en compte toutes les fréquences testées pour répondre aux exigences. Il est à noter que l'appareil a présenté un niveau élevé de perturbations notamment, mais non exclusivement, autour de 150 MHz.



Rapport SM.2503-5

La Figure 6 présente la mesure des perturbations causées par un mixeur de 220 V en courant alternatif. Elle montre un niveau important de perturbations électromagnétiques, dépassant la limite normative de plus de 25 dB. Dans la gamme de fréquences du réseau WSN, les perturbations étaient à environ 10 dB au-dessus de la limite normative. Compte tenu de cette mesure et des niveaux élevés de perturbations, cet appareil a été choisi pour être utilisé dans l'évaluation concernant le réseau WSN.

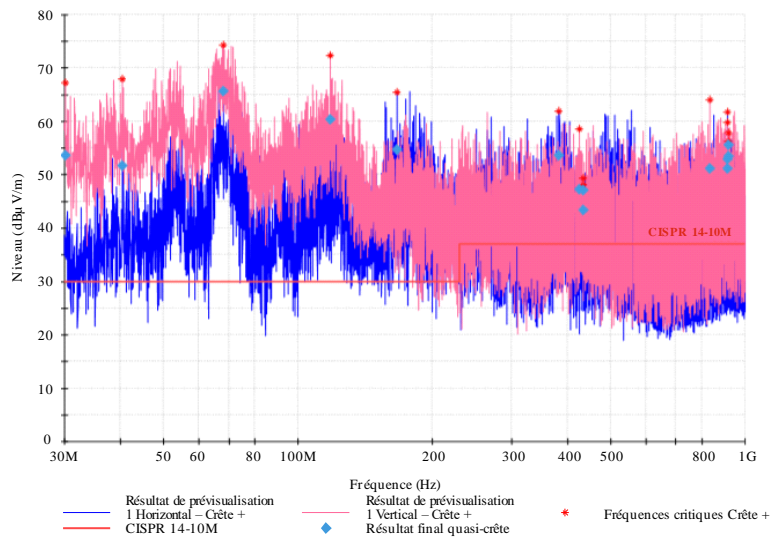
FIGURE 6
Résultat de la mesure des perturbations – Mixeur de 220 V CA



Rapport SM.2503-6

La Figure 7 présente la mesure des perturbations causées lorsque les deux mixeurs fonctionnent simultanément. Les niveaux dépassent la limite normative de plus de 30 dB et, dans la gamme de fréquences du réseau WSN, les perturbations dépassent d'environ 15 dB la limite normative.

FIGURE 7
Résultat de la mesure des perturbations – Mixeurs de 127 V CA et de 220 V CA

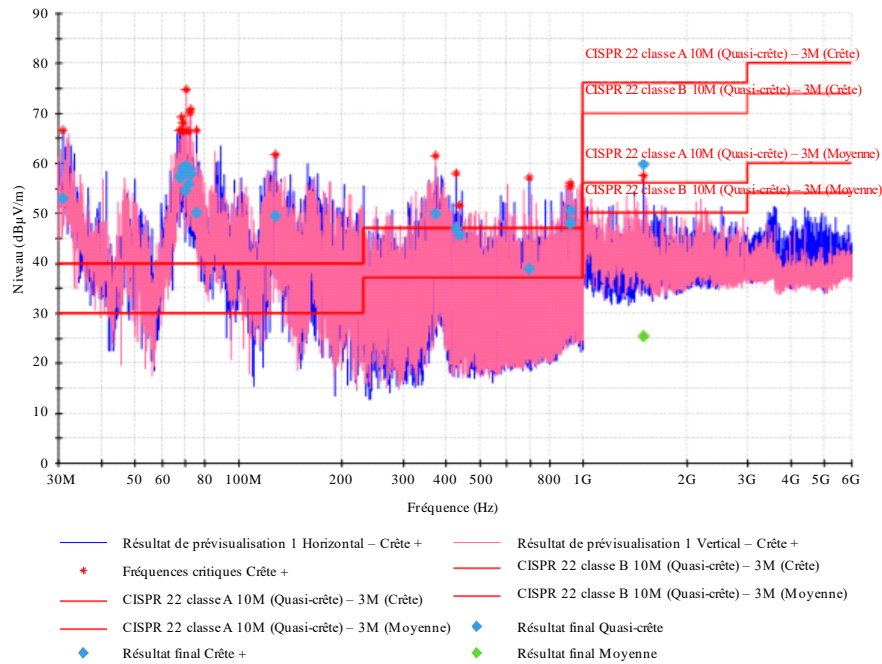


Rapport SM.2503-7

En outre, les perturbations combinées provenant de différents types d'appareils électroménagers ont été mesurées. La Figure 8 présente les mesures effectuées avec un four à micro-ondes, un réfrigérateur et un mixeur de 127 V CA. Les niveaux ont dépassé les limites dans plusieurs fréquences, y compris au-dessus de 1 GHz.

FIGURE 8

Résultat de la mesure des perturbations – Four à micro-ondes, réfrigérateur, mixeur (127 V CA)



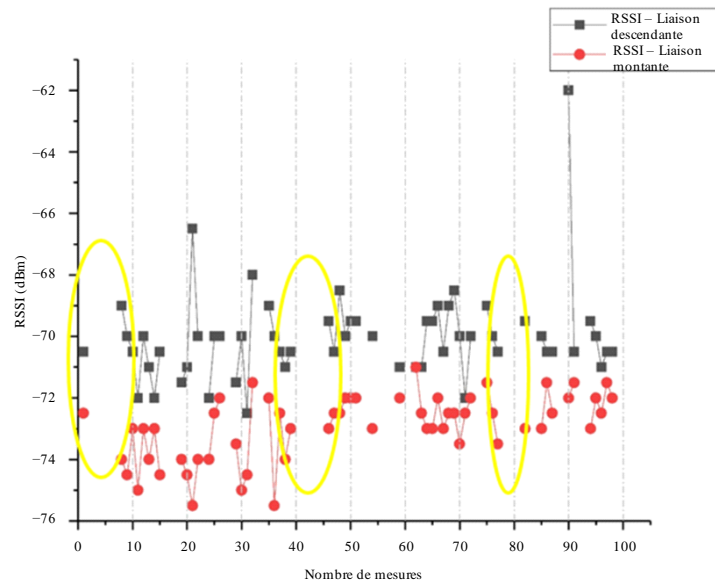
Rapport SM.2503-8

5 Évaluation des brouillages

La Figure 9 montre la collecte de 100 mesures de l'indication RSSI du réseau WSN avec l'appareil électroménager (mixeur 220 V CA) dans la chambre semi-anéchoïque. Les indications en jaune montrent les pertes de paquets causées par le brouillage électromagnétique provenant du mixeur. Le PER obtenu était de 42%, entraînant une perte considérable du trafic de données dans l'exploitation du réseau WSN.

FIGURE 9

Analyse de l'indication RSSI avec des appareils électroménagers – 100 mesures

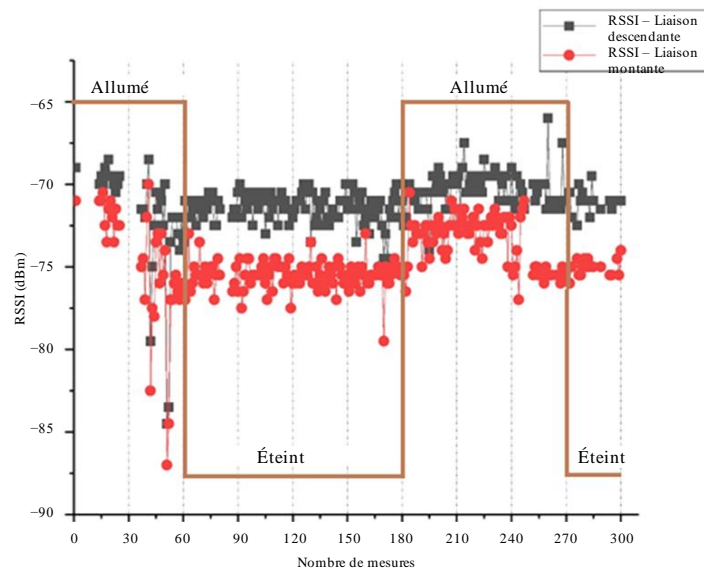


Rapport SM.2503-9

La Figure 10 montre 300 mesures réalisées dans le temps, appareil allumé et éteint. Dans les mesures 60 à 180, lorsque l'appareil électroménager est éteint, le réseau WSN maintient l'indication RSSI stable; cependant, dans les mesures 180 à 270, l'appareil électroménager est allumé et des paquets sont perdus en raison de l'instabilité de l'indication RSSI.

FIGURE 10

Analyse de l'indication RSSI avec des appareils électroménagers – 300 mesures



Rapport SM.2503-10

6 Conclusions

Sur la base des résultats présentés, on peut conclure que les appareils électroménagers étudiés présentaient des niveaux de perturbations électromagnétiques par rayonnement supérieurs à la limite normative, susceptibles d'influer de manière significative sur le fonctionnement d'un réseau WSN.

Afin de déterminer les incidences de ces perturbations sur le réseau WSN, les niveaux de RSSI et de PER ont été collectés au fil du temps à l'intérieur d'une chambre semi-anéchoïque. L'indication RSSI présentait des niveaux stables et aucune perte de paquets n'a été constatée lorsque le réseau n'était pas en présence de l'appareil électroménager. En insérant l'appareil sélectionné dans l'essai, il a été possible de mesurer une indication RSSI instable et un PER de 42%. On peut en conclure que les brouillages produits par l'appareil électroménager utilisé aux fins de l'étude ont des incidences importantes sur le fonctionnement du réseau.

Les travaux ont porté en particulier sur les réseaux WSN de l'IoT autour de la bande 915 MHz; toutefois, certaines perturbations produites par les appareils électroménagers ont été détectées et mesurées dans de nombreuses fréquences, avec, pour certaines, des niveaux beaucoup plus élevés que ceux indiqués pour la majeure partie de la bande étudiée. Par conséquent, d'autres services de radiocommunication pourraient également être affectés par les perturbations. Les fréquences inférieures à 30 MHz n'ont pas été prises en considération dans le cadre de cette étude, mais les brouillages pourraient y être encore plus marqués.

Le présent Rapport encourage donc la réalisation d'études pour examiner ces cas de brouillages ainsi que d'autres cas potentiels et montre la nécessité de poursuivre les études sur ces phénomènes dans les bandes de fréquences utilisées ou envisagées pour la mise en réseau IoT, afin d'examiner les perturbations et les brouillages possibles des appareils électroménagers à d'autres configurations de réseaux IoT.

Dans une perspective plus globale, les nouvelles technologies telles que l'IoT peuvent être planifiées ou conçues de façon appropriée, mais lorsqu'elles sont mises en pratique, notamment dans un environnement résidentiel, leurs réseaux peuvent ne pas fonctionner correctement en raison de brouillages inattendus provenant de différents types d'émetteurs non intentionnels, ce qui représente une menace pour les avancées technologiques et leurs applications.

Étant donné que le développement des réseaux et des villes intelligentes nécessite de plus en plus d'équipements et de réseaux électriques et électroniques convergents et intégrés, il est de la plus haute importance de prendre en compte les concepts techniques de la compatibilité électromagnétique et toutes les exigences nécessaires pour prévenir et éviter les brouillages provenant d'émetteurs non intentionnels, en particulier afin de protéger les services de radiocommunication actuels et futurs.
