

# UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Rapport UIT-R SM.2449-0**  
(06/2019)

## **Caractéristiques techniques des systèmes de transmission d'énergie sans fil par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables et analyse des incidences de ces systèmes sur les services de radiocommunication**

**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 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, 2020

© UIT 2020

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.2449-0

**Caractéristiques techniques des systèmes de transmission d'énergie sans fil  
par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles  
et portables et analyse des incidences de ces systèmes  
sur les services de radiocommunication**

(Question UIT-R 210-3/1)

(2019)

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	2
2 Applications actuelles destinées à charger par induction des dispositifs mobiles et portables et fonctionnant dans la gamme de fréquences 100-148,5 kHz .....	2
3 Normes internationales relatives aux applications de transmission d'énergie sans fil par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz .....	3
4 Caractéristiques techniques et opérationnelles des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz	3
4.1 Caractéristiques opérationnelles .....	3
4.2 Caractéristiques techniques .....	4
5 Analyse des incidences sur les services de radiocommunication.....	4
5.1 Étude 1 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) .....	4
5.2 Étude 2 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) .....	12
5.3 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service d'amateur .....	22
5.4 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service de radionavigation .....	28
5.5 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service de radionavigation aéronautique.....	37
6 Conclusion .....	42
Annexe 1 – Références .....	42
Annexe 2 – Abréviations.....	44

## 1 Introduction<sup>1</sup>

En raison d'une demande croissante de dispositifs sans fil et de mobilité à l'échelle mondiale, les technologies de transmission d'énergie sans fil (WPT) permettant d'alimenter ces dispositifs ont évolué et les consommateurs du monde entier peuvent désormais se les procurer facilement. L'UIT-R a procédé à des évaluations préliminaires des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau. Elle s'est notamment penchée sur leurs différents cas d'utilisation, sur les caractéristiques techniques qui sont communes à toutes ces applications et sur la réglementation visant celles-ci dans plusieurs pays. Ces travaux, qui ont été menés en réponse à la Question UIT-R 210-3/1, ont été publiés dans le Rapport UIT-R SM.2303, intitulé «Transmission d'énergie sans fil au moyen de techniques autres que la transmission par faisceau radiofréquence», ainsi que dans certaines parties de la Recommandation UIT-R SM.2110.

Le présent Rapport vise à étendre les travaux déjà menés sur les technologies WPT par induction n'utilisant pas de faisceau en les orientant plus particulièrement sur les applications qui fonctionnent dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz et qui permettent d'alimenter les dispositifs mobiles et portables par une transmission d'énergie allant jusqu'à 15 watts. Quant aux applications de plus forte puissance, destinées par exemple à recharger des véhicules électriques ou des appareils domestiques, elles ont des caractéristiques de fonctionnement et des gammes de fréquences différentes, et les informations disponibles à leur égard ne sont pas homogènes; elles ne font donc pas partie du domaine d'application du présent Rapport. Les conclusions de ce Rapport sont proposées en réponse à l'alinéa 2 du *décide* de la Question UIT-R 210-3/1, qui concerne les mesures à prendre pour réduire au minimum les incidences sur les services de radiocommunication existants; elles visent à démontrer que ces dispositifs fonctionnent conformément au numéro **15.12** du Règlement des radiocommunications (RR).

## 2 Applications actuelles destinées à charger par induction des dispositifs mobiles et portables et fonctionnant dans la gamme de fréquences 100-148,5 kHz

Aux termes du Rapport UIT-R SM.2303-1, les technologies WPT fonctionnant par induction visent certains dispositifs mobiles ou portables tels que des téléphones intelligents, des tablettes et des ordinateurs portables. Depuis la publication de ce Rapport, ces technologies ont été étendues à certains dispositifs à porter sur soi comme des montres intelligentes et des appareils de suivi de la forme physique. Les applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sont actuellement autorisées et en vente libre dans plusieurs pays exploitant la bande de fréquences 100-148,5 kHz.

Pour charger par induction et sans faisceau un dispositif quelconque, il faut généralement établir un contact direct entre ce dispositif et la source d'énergie. Une fois que le contact direct a été établi et que le chargement a commencé, la puissance émise est en principe inférieure à 15 watts. Si le contact est interrompu, le dispositif cesse de se charger; en revanche, il peut émettre un peu d'énergie dans le seul but de détecter d'autres dispositifs. On trouvera dans la quatrième partie du présent Rapport une description plus détaillée des caractéristiques techniques et opérationnelles des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau qui fonctionnent dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz.

---

<sup>1</sup> Deux des scénarios présentés dans les études du présent Rapport tiennent compte des affaiblissements dus à la pénétration dans les bâtiments. Le groupe responsable au sein de l'UIT-R nous a informés du fait que ces scénarios avaient un champ d'application limité.

### 3 Normes internationales relatives aux applications de transmission d'énergie sans fil par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz

Les normes internationales relatives aux applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sont indiquées dans la quatrième partie du Rapport UIT-R SM.2303-1.

D'une manière générale, on peut considérer que les applications WPT sont des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) (voir les numéros **1.15** et **15.13** du RR) dès lors qu'il n'y a pas de communication de données entre le chargeur et l'appareil qui se charge. Néanmoins, beaucoup d'administrations ont décidé, dans le cadre de la réglementation de leur spectre national, de classer ces applications comme des éléments rayonnants intentionnels et de les autoriser au titre des dispositifs à courte portée ou des applications sans obligation de licence.

### 4 Caractéristiques techniques et opérationnelles des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz

#### 4.1 Caractéristiques opérationnelles

Les applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau qui servent à recharger des dispositifs mobiles ou portables sont surtout employées à l'intérieur des bâtiments, notamment dans des bureaux et des domiciles privés.

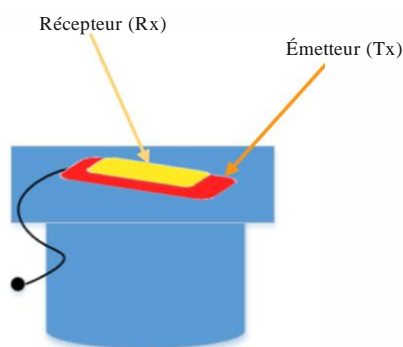
La majeure partie du chargement ne s'effectue que lorsque le dispositif à charger et la source d'énergie sont en contact direct. Le chargement ne dure généralement pas longtemps et cesse lorsque la batterie du dispositif à charger est pleine. Une fois que la batterie est entièrement chargée, ou lorsque le contact direct est interrompu, les émissions se réduisent considérablement.

Les applications examinées dans le présent Rapport sont disponibles sur le marché et sont homologuées par la *Federal Communications Commission* (FCC) au titre des dispositifs sans obligation de licence<sup>2</sup>, puisqu'elles sont considérées comme des éléments rayonnants intentionnels aux fins de la vente et de l'emploi aux États-Unis d'Amérique.

#### 4.1.1 Scénarios de mise en charge

Les essais ont été effectués d'abord avec un seul chargeur sans fil (Fig. 1), puis avec cinq chargeurs (Fig. 2).

FIGURE 1  
Illustration de l'essai avec un seul chargeur, typique d'un emploi à domicile

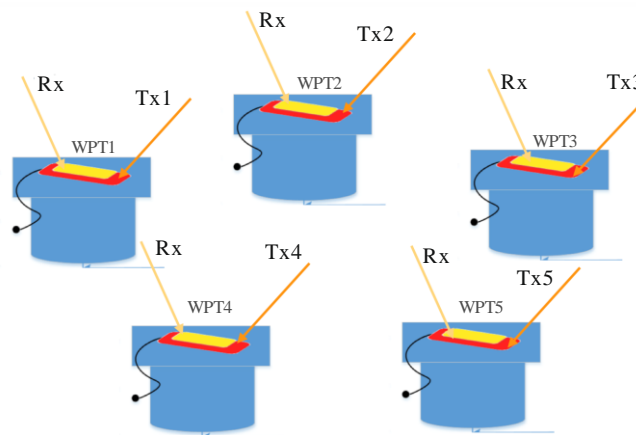


Rapport SM.2449-01

<sup>2</sup> 47 C.F.R. § 15 et 18 (2017).

FIGURE 2

Illustration de l'essai avec cinq chargeurs, typique d'un emploi en milieu professionnel



Rapport SM.2449-02

## 4.2 Caractéristiques techniques

TABLEAU 1

### Mode de fonctionnement

<b>Largeur de bande</b>	417 Hz			
<b>Niveaux de puissance</b>	Fondamental = $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 300 m			
<b>Champ</b>	Fondamental = $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 300 m			
<b>Contenu harmonique</b>	<b>HD3</b>	<b>HD5</b>	<b>HD7</b>	<b>HD9</b>
	$-24 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 300 m	$8,9 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 30 m	$6 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 30 m	$4 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 30 m

## 5 Analyse des incidences sur les services de radiocommunication

En vertu de l'article 5 du RR, les services de radiocommunication auxquels la bande de fréquences 100-148,5 kHz est attribuée à titre primaire sont le service fixe, les services de radionavigation (y compris aéronautique), le service mobile maritime et le service de radionavigation maritime. De plus, la bande de fréquences 135,7-137,8 kHz est attribuée à titre secondaire au service d'amateur dans les trois régions. La bande de fréquences 148,5-255 kHz est attribuée à titre primaire au service de radiodiffusion dans la Région 1.

### 5.1 Étude 1 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA)

Le service de radiodiffusion fonctionne dans les bandes de fréquences suivantes:

- Région 1: 148,5-283,5 kHz et 526,5-1 606,5 kHz<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Le service de radiodiffusion est subordonné au Plan établi en vertu de l'Accord régional de Genève de 1975: la bande de fréquences 148,5-283,5 kHz est attribuée à la Région 1 et la bande 526,5-1 606,5 kHz aux Régions 1 & 3 (Genève, 1975).

- Région 2: 525-1 625 kHz (sous réserve du numéro 5.89)<sup>4</sup>
- Région 3: 526,5-1 606,5 kHz<sup>3</sup>

L'essai effectué portait sur des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz. Il a été mis en œuvre dans le canal de 810 kHz, qui représente la 7<sup>ème</sup> harmonique dans les applications WPT. Le canal de 810 kHz était celui qui remplissait le mieux les conditions de puissance minimale des signaux définies pour la radiodiffusion MA aux États-Unis d'Amérique.

### 5.1.1 Montage de l'essai

Aux fins de la présente étude, nous avons employé des données recueillies lors d'essais effectués dans une chambre d'essai sécurisée de 3 m. Huit chargeurs par induction de dispositifs mobiles disponibles sur le marché ont été testés pour déterminer s'ils causaient des brouillages à deux récepteurs de radio MA également disponibles sur le marché. Dans le scénario d'essai à plusieurs dispositifs, cinq des huit chargeurs ont été testés simultanément.

Le champ a été déterminé au moyen d'une antenne cadre blindée. Dans l'essai à plusieurs dispositifs comme dans l'essai à un seul dispositif, les brouillages ont été testés sur les deux radios MA. La Fig. 3 ci-dessous illustre l'essai effectué avec un seul dispositif WPT.

FIGURE 3

Montage de l'essai en laboratoire avec un seul dispositif

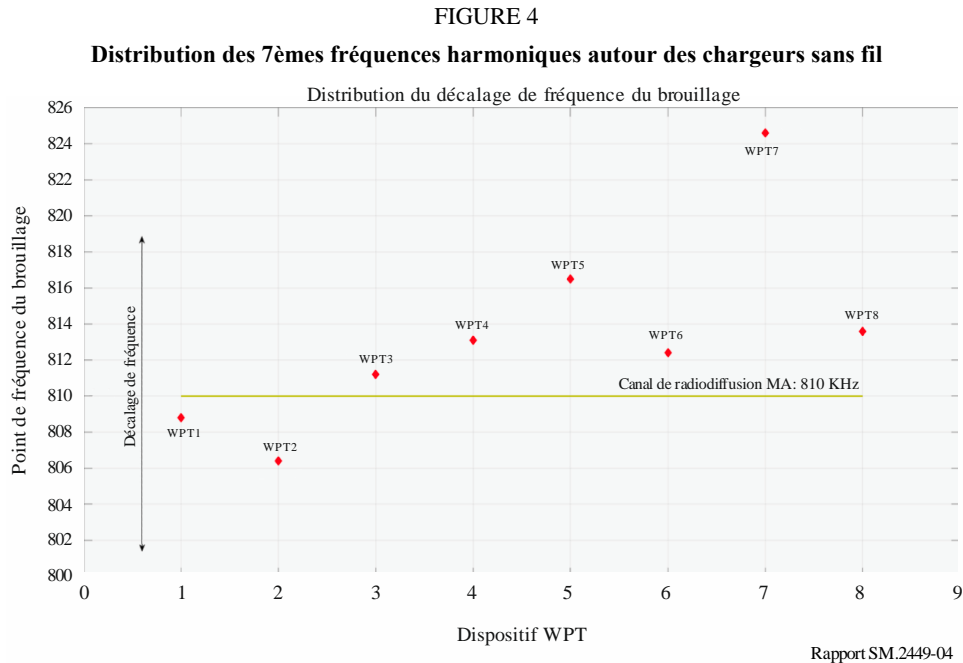


Rapport SM.2449-03

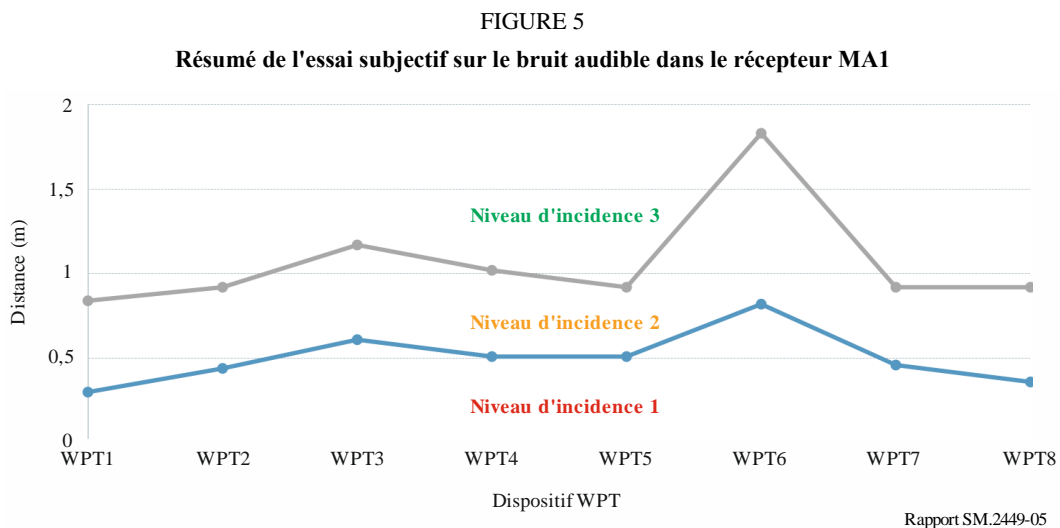
<sup>4</sup> En vertu du numéro 5.89, dans la Région 2, l'utilisation de la bande 1 605-1 705 kHz par les stations du service de radiodiffusion est subordonnée au Plan établi par la Conférence administrative régionale des radiocommunications (Rio de Janeiro, 1988).

### 5.1.2 Essai subjectif sur le bruit audible (avec un seul et plusieurs dispositifs)

On trouvera dans le présent paragraphe les données et les résultats de l'essai subjectif sur le bruit audible. La Fig. 4 montre que toutes les 7èmes harmoniques des chargeurs sans fil se situent à l'intérieur de la plage de décalage de fréquences  $-4 \text{ kHz} \sim +14,6 \text{ kHz}$ . Dans le scénario à plusieurs dispositifs, les chargeurs sans fil étaient disposés à environ 0,6 m de distance les uns des autres autour du récepteur MA.



Les résultats des essais de brouillage de chaque chargeur sans fil sur les deux récepteurs de radiodiffusion (MA1 et MA2) sont résumés dans les figures et tableaux ci-après. Les figures sont construites autour de trois niveaux d'incidence (voir Tableau 2) pour permettre l'évaluation du bruit audible que chaque chargeur sans fil provoquait dans les récepteurs MA. Les courbes indiquent les niveaux le plus faible et le plus élevé de bruit audible, le niveau 1 étant intolérable et le niveau 3 inaudible. Le niveau d'incidence diminue à mesure que la distance entre le chargeur et le récepteur MA augmente.





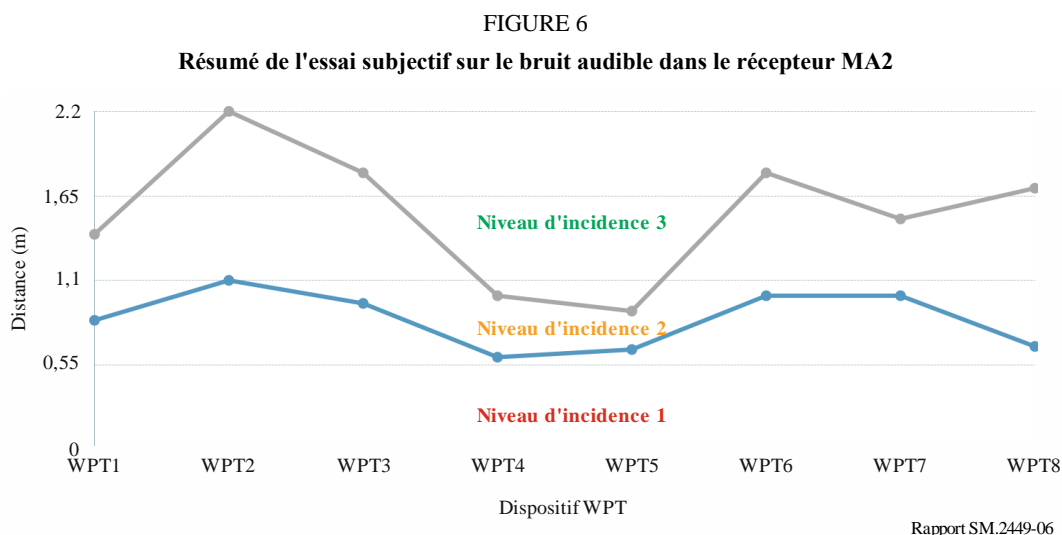


TABLEAU 2

## Définition des niveaux d'incidence

Niveau d'incidence	Définition
1	Bruit intolérable
2	Bruit audible, mais toléré
3	Bruit inaudible

On trouvera dans les Tableaux 3 et 4 un résumé des résultats des essais à un seul dispositif sur les récepteurs MA1 et MA2. Les deux colonnes à l'extrême droite indiquent la distance correspondant aux Figs. 5 et 6 ci-dessus. Pour le récepteur MA1, si le chargeur sans fil est placé à une distance supérieure à 1,83 m, il n'y a pas de brouillage audible. Pour le récepteur MA2, cette distance doit être supérieure à 1,8 m.

TABLEAU 3

## Résumé de l'essai subjectif sur le bruit audible d'un seul dispositif dans le récepteur MA1

Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dB $\mu$ V/m) (canal de 810 kHz)	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
WPT1	-22,06	-53,36	54,35	0,3	0,84
WPT2	-27,11	-58,41	54,35	0,44	0,92
WPT3	-12,65	-43,95	54,35	0,61	1,17
WPT4	-29,74	-61,04	54,35	0,51	1,02
WPT5	-16,02	-47,32	54,35	0,51	0,92
WPT6	-28,8	-60,1	54,35	0,82	1,83
WPT7	-7,04	-38,34	54,35	0,46	0,92
WPT8	-29,88	-61,18	54,35	0,36	0,92

TABLEAU 4

## Résumé de l'essai subjectif sur le bruit audible d'un seul dispositif dans le récepteur MA2

Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dB $\mu$ V/m) (canal de 810 kHz)	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
WPT1	-22,06	-53,36	54,16	0,84	1,4
WPT2	-27,11	-58,41	54,16	1,1	2,2
WPT3	-12,65	-43,95	54,16	0,95	1,8
WPT4	-29,74	-61,04	54,16	0,6	1
WPT5	-16,02	-47,32	54,16	0,65	0,9
WPT6	-28,8	-60,1	54,16	1	1,8
WPT7	-7,04	-38,34	54,16	1	1,5
WPT8	-29,88	-61,18	54,16	0,67	1,7

Les Tableaux 5 et 6 montrent les résultats de l'essai à plusieurs dispositifs. Les cinq chargeurs sans fil employés dans cet essai ont été placés à environ 0,6 m les uns des autres autour du récepteur MA. Les résultats pour le récepteur MA1 montrent que lorsque les chargeurs se trouvent à plus de 2,2 m, les brouillages deviennent inaudibles. Pour le récepteur MA2, cette distance est de 2,3 m.

TABLEAU 5

## Résumé de l'essai subjectif sur le bruit audible de plusieurs chargeurs dans le récepteur MA1

Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dB $\mu$ A/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dB $\mu$ V/m) (canal de 810 kHz)	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
WPT1	-12,65	-43,95	54,16	1,2	2,2
WPT2	-29,74	-61,04	54,16		
WPT3	-28,8	-60,1	54,16		
WPT4	-7,04	-38,34	54,16		
WPT5	-29,88	-61,18	54,16		

TABLEAU 6

Résumé de l'essai subjectif sur le bruit audible de plusieurs chargeurs dans le récepteur MA2

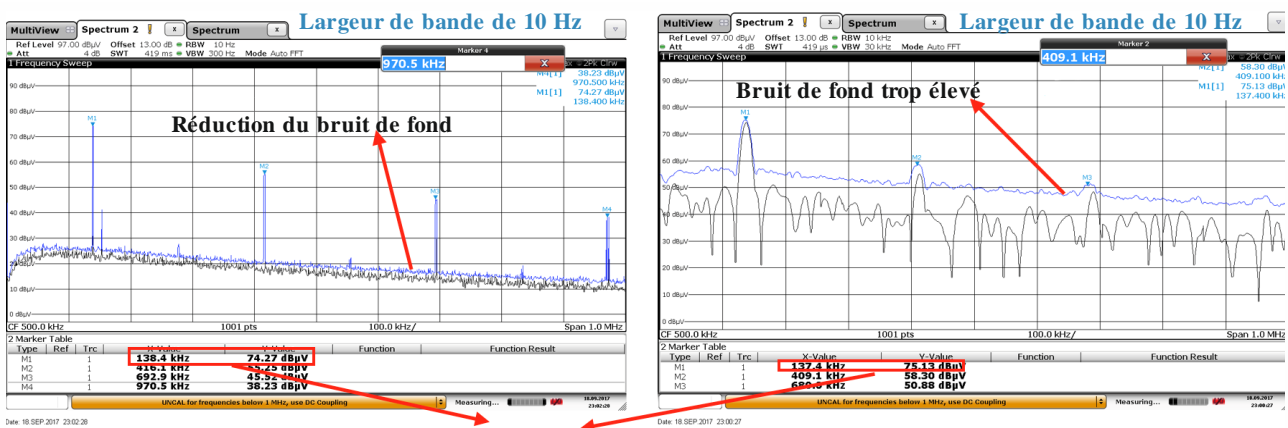
Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dBµV/m) (canal de 810 kHz)	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
WPT1	-12,65	-43,95	54,16	1,1	2,3
WPT2	-29,74	-61,04	54,16		
WPT3	-28,8	-60,1	54,16		
WPT4	-7,04	-38,34	54,16		
WPT5	-29,88	-61,18	54,16		

5.1.3 Quantification du champ en espace libre pour des applications WPT et des récepteurs MA

La Fig. 7 indique le paramétrage de la largeur de bande employé pour mesurer les harmoniques des applications WPT; elle offre une justification visuelle du choix d'une largeur de bande de 10 Hz. Comme le montre cette Figure, la différence entre une largeur de bande de 10 Hz et de 10 kHz n'est que de 1 dB, mais elle réduit considérablement le bruit de fond. En outre, l'emploi d'une largeur de bande de 10 Hz est plus cohérent avec les caractéristiques du signal WPT. Ce signal étant semblable à une onde sinusoïdale, il dépend peu de la largeur de bande. Au demeurant, le choix de 10 Hz a permis de mieux définir les conditions nécessaires pour effectuer les mesures.

FIGURE 7

Justification de la largeur de bande

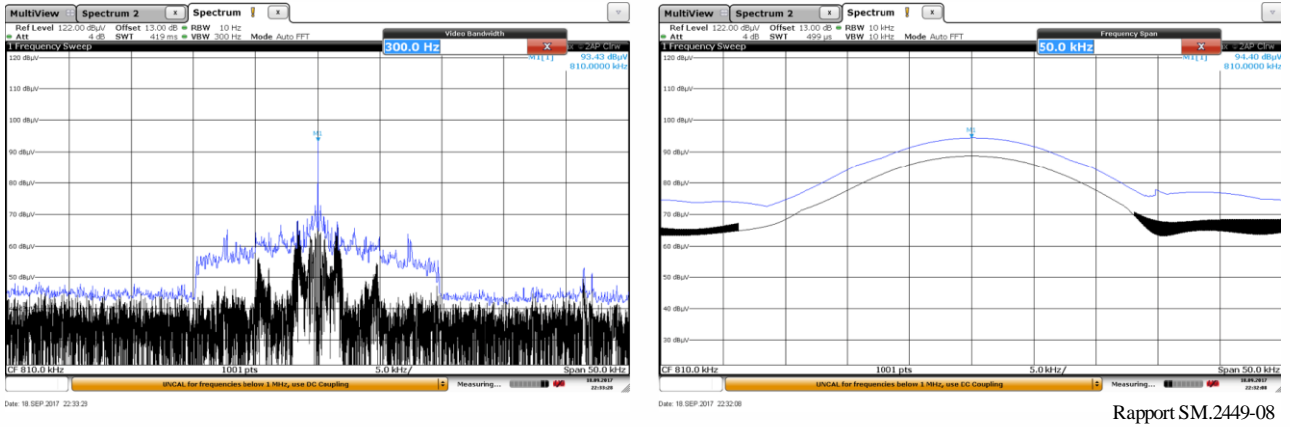


Seulement 1 dB de différence

Le paramétrage de la largeur de bande du signal des récepteurs MA est indiqué dans la Fig. 8. Compte tenu de la différence de 1 dB, la largeur de bande de 10 Hz a également été choisie pour ces récepteurs.

FIGURE 8

Paramétrage de la largeur de bande des récepteurs MA

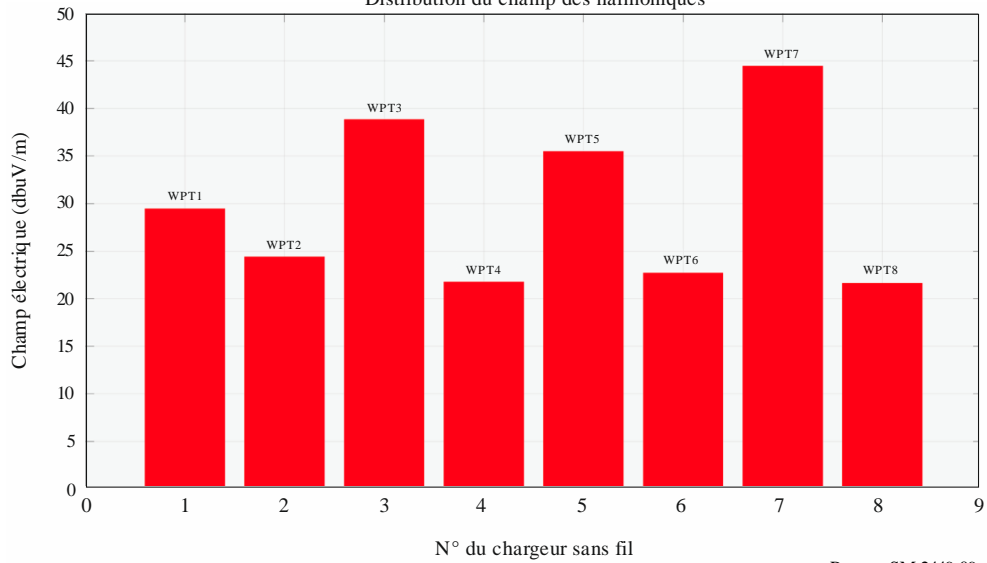


Rapport SM.2449-08

FIGURE 9

Mesure du champ des 7èmes fréquences harmoniques à 3 m

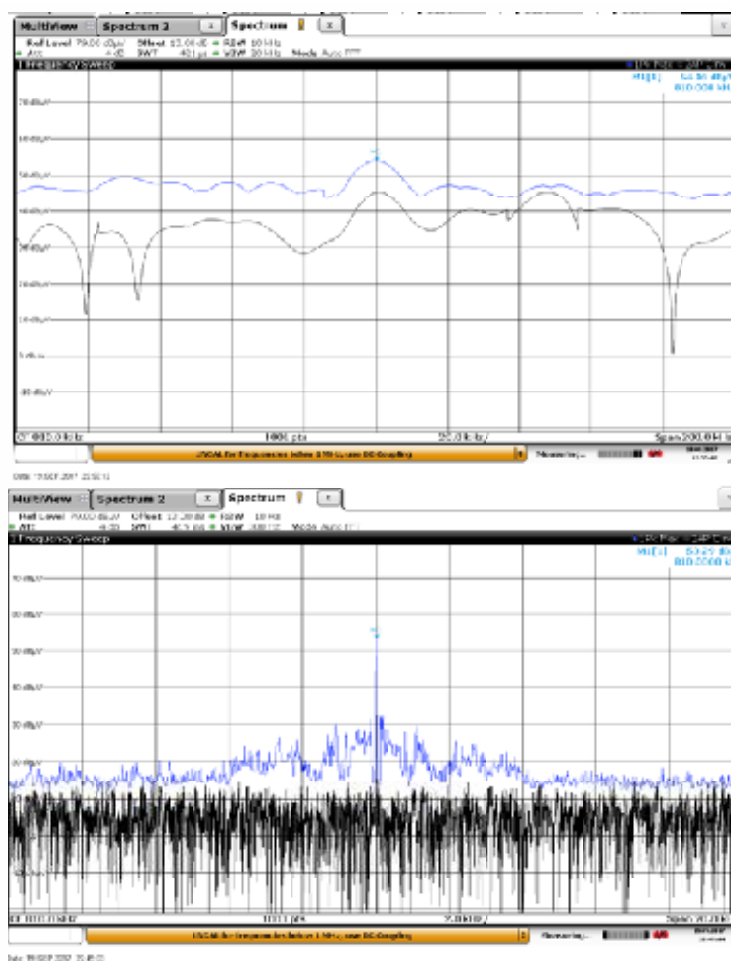
Distribution du champ des harmoniques



Rapport SM.2449-09

FIGURE 10

Champ du signal radio MA, 54,16 dB $\mu$ V/m (0,5 mV/m = 54 dB $\mu$ V/m)



Rapport SM.2449-10

### 5.1.4 Résumé des résultats

Les résultats des essais en laboratoire montrent qu'il faut une distance de séparation minimale de 2,3 m pour éviter que des chargeurs par induction ne causent des brouillages audibles sur la 7<sup>ème</sup> harmonique dans des récepteurs de radiodiffusion MA. Comme il s'agit de dispositifs mobiles généralement employés dans des bureaux ou à domicile, cette distance est réaliste. Les incidences de ces chargeurs sur le service de radiodiffusion sont donc jugées négligeables dans la présente étude.

TABLEAU 7

### Résumé de l'expérience

Récepteurs de radio MA	Champ d'un seul dispositif (dB $\mu$ V/m) (Cible: 500 $\mu$ V/m, 54 dB $\mu$ V/m)	Incidence d'un seul dispositif dans le pire scénario, 8 chargeurs sans fil étant testés séparément	Incidence de plusieurs dispositifs dans le pire scénario, 5 chargeurs sans fil étant testés ensemble à une distance de 0,6 m les uns des autres
MA1	54,35	<0,82 m, bruit intolérable >1,83 m, bruit inaudible	<1,2 m, bruit intolérable >2,2 m, bruit inaudible
MA2	54,16	<1,1 m, bruit intolérable >2,2 m, bruit inaudible	<1,1 m, bruit intolérable >2,3 m, bruit inaudible

## 5.2 Étude 2 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA)

### 5.2.1 Observations générales

Quelques essais essentiellement subjectifs ont été effectués au moyen d'un chargeur de téléphone entièrement générique, d'un simulateur de téléphone mobile servant de charge fictive et d'un téléphone intelligent.

Dès le début des essais, il est devenu évident que la reproductibilité allait constituer un problème majeur. Au demeurant, il était très difficile d'expliquer les observations. L'énergie émise en sortie par le chargeur dépendait dans une très large mesure de la position exacte de la charge (ou du téléphone) sur le chargeur, ainsi que de son emplacement précis par rapport au récepteur et de son orientation. Non seulement la fréquence de fonctionnement changeait, mais la nature des brouillages changeait aussi lorsque les paramètres variaient. D'une manière générale, la «sortie» semblait être une onde carrée pulsée et filtrée dont la fréquence variait même lorsque la charge était solidement maintenue en un lieu précis par rapport au chargeur. En outre, même s'il n'y avait pas d'harmonique au sein du «canal» sur lequel le récepteur était réglé<sup>5</sup>, d'importants transitoires de commutation (à la fréquence de répétition des impulsions) pouvaient parfois<sup>6</sup> être entendus dans l'ensemble de la bande des ondes hectométriques (MF). Non seulement l'incidence générale dépendait dans une certaine mesure de la position exacte du chargeur par rapport au récepteur, mais elle dépendait surtout de la polarisation relative (présumée) du chargeur. L'incidence du brouillage pouvait être plus ou moins éliminée par un alignement minutieux. Si les incidences de l'emplacement et de la polarisation étaient généralement conformes aux prévisions, tel n'était pas systématiquement le cas et les effets devenaient alors difficiles à expliquer. La variabilité et l'instabilité générales de l'ensemble du montage semblaient indiquer qu'il était difficile de procéder à des mesures cohérentes.

L'efficacité de fonctionnement du chargeur lors de la mise en charge d'un téléphone était très différente de celle qui était observée avec une charge fictive. Il était difficile de déterminer dans quelle mesure ces variations pouvaient dépendre de l'état de charge de la batterie du téléphone, celui-ci étant presque entièrement chargé.

Lorsqu'aucun téléphone ne se trouvait sur le chargeur, celui-ci se trouvait alors inactif mais émettait de manière intermittente et relativement fréquente une impulsion de rayonnement, qui correspondait à une tentative de détection d'un éventuel téléphone mobile sur le chargeur ou à proximité en vue de déclencher la mise en charge. Même lorsqu'aucun téléphone n'était en charge, ces salves étaient clairement audibles sur un récepteur proche.

Une évaluation subjective semblait indiquer qu'en combinant la charge de la bobine et un signal utile entrant produit artificiellement<sup>7</sup> de +18,5 dB $\mu$ A/m (équivalent à 70 dB $\mu$ V/m – 10 dB au-dessus de la sensibilité minimale du récepteur préconisée dans la Recommandation UIT-R BS.703), l'incidence du signal brouilleur à une distance de 2 m pouvait varier entre un bruit plus ou moins inaudible et un bruit extrêmement gênant lorsqu'on modifiait l'orientation et/ou la position précise du chargeur. Cette observation s'écarte nettement des résultats présentés dans les Tableaux 3 et 4 du présent Rapport, selon lesquels l'incidence de tous les chargeurs testés était inaudible au-delà de 2 m (et parfois à une distance inférieure) lorsque le signal entrant (utile) avait baissé de 16 dB.

---

<sup>5</sup> De très petits changements de position de la charge par rapport au chargeur pouvaient faire passer l'harmonique dans un canal adjacent, voire plus loin.

<sup>6</sup> Là encore, tout dépendait de la position de la charge et de son orientation.

<sup>7</sup> Les effets ont été effectués dans une cage de Faraday.

### 5.2.2 Montage de l'essai

Les essais ont été effectués dans une cage de Faraday d'une longueur légèrement inférieure à 4 m. Cette situation a placé quelques contraintes sur les essais possibles, la plus importante étant que la distance maximale séparant le récepteur du chargeur était de 2 m. Le montage physique est illustré dans les Figs. 11 et 12.

FIGURE 11  
Montage de l'essai (diagramme)

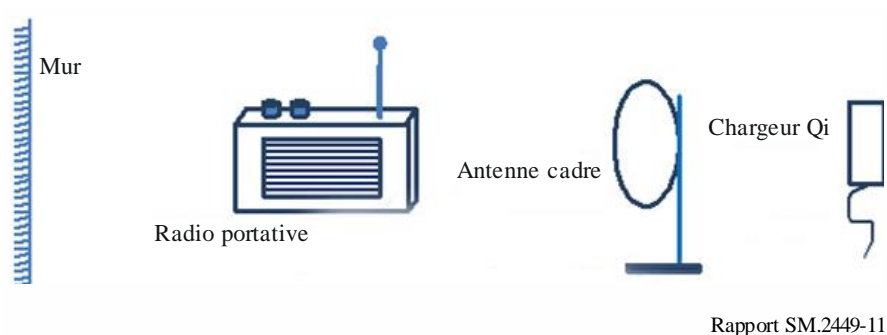
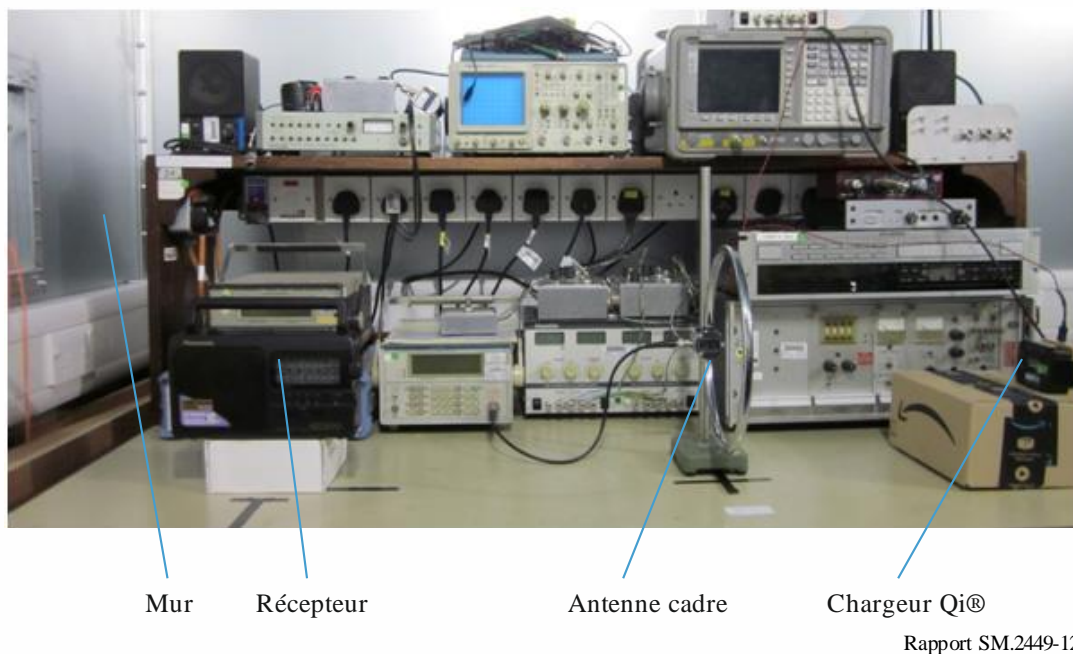


FIGURE 12  
Montage de l'essai (photographie)



L'antenne en ferrite du récepteur et le chargeur ont été disposés sur un axe perpendiculaire à l'antenne cadre. Pendant les essais, le récepteur était à 0,5 m du mur, l'antenne cadre à 1,0 m et le chargeur à 1,2 m.

L'antenne cadre a servi à simuler un signal radiodiffusé. Cette simulation présentait des avantages par rapport à un signal transmis par voie hertzienne.

Le niveau du signal au récepteur pouvait être contrôlé de manière précise.

La fréquence de fonctionnement pouvait aussi être réglée avec précision. Non seulement ce réglage permettait de placer le récepteur sur la même fréquence que le chargeur, mais il permettait en outre d'étudier différentes harmoniques du chargeur susceptibles d'avoir des incidences sur différentes fréquences porteuses (différents canaux de radiodiffusion).

NOTE – La fréquence du récepteur était ou pouvait être «réglée» sur celle du chargeur, mais pas l'inverse.

Les mêmes échantillons audiophoniques (voix et musique) ont pu être employés dans tous les essais, ce qui a éliminé une source d'incertitude potentielle.

La possibilité de contrôler le niveau du signal au récepteur signifiait aussi que l'effet produit par le rapprochement ou l'éloignement du chargeur par rapport au récepteur pouvait être simulé sans avoir à déplacer le dispositif physiquement. Comme nous l'avons déjà indiqué, les dimensions de la cage de Faraday ont fortement limité la possibilité de séparer les éléments. L'effet de réflexion sur les murs a été étudié et pris en compte, le cas échéant (voir le § 3.6.1). Comme la relation entre le champ et la distance est soumise à la loi du cube inverse, tout accroissement de 18 dB du niveau du signal utile (radiodiffusé) aurait pour effet de doubler la distance de séparation entre le récepteur et le chargeur. Le récepteur allait inévitablement fonctionner avec un champ plus élevé de 18 dB; dès lors, pour conserver le bon rapport signal/bruit, il convenait d'injecter un bruit RF supplémentaire de 18 dB dans le récepteur. Cette opération a pu être mise en œuvre facilement en ajoutant du bruit au signal utile dans l'antenne cadre<sup>8</sup>. De la sorte, la distance réelle entre le récepteur et le chargeur a pu être fixée à la valeur souhaitée<sup>9</sup> et la diminution de l'effet de brouillage due à la distance de séparation a pu être mesurée.

L'angle du chargeur a été réglé de manière à avoir l'incidence maximale (pire scénario) sur le récepteur et à donner un couplage maximum aux bobines de détection. Le couplage du chargeur vers le récepteur était au minimum (et souvent le brouillage pratiquement inaudible) lorsque l'ensemble chargeur-charge était incliné d'environ 10° par rapport à l'horizontale, la charge étant éloignée du récepteur. La géométrie de ce montage semble indiquer que le couplage minimum se produit lorsque la bobine du chargeur est horizontale, car le champ brouilleur coïncide alors avec la sensibilité minimale de l'antenne en ferrite (à angle droit de la sensibilité maximale). Dans la pratique, l'orientation produisant la sensibilité minimale dépendait de l'emplacement précis de la charge sur le chargeur. Bien entendu, elle dépendait aussi du décalage vertical et latéral du chargeur par rapport à l'axe de l'antenne en ferrite. La sensibilité minimale était nette et prononcée, tandis que la sensibilité maximale était moins bien définie. La réponse polarisée en «cos  $\theta$ » de la bobine du chargeur produisait une valeur nulle très nette au minimum et un plateau plus large au maximum.

### 5.2.3 Mesure de la qualité de fonctionnement du récepteur

Les «caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification» sont définies dans la Recommandation UIT-R BS.703. Les paramètres pertinents sont les suivants:

- |  |  |
|--|--|
| – Réponse en modulation sonore (fréquence)   | –3 dB à 2 kHz; –24 dB à 5 kHz                      |
| – Rapport signal/bruit ( $S/N$ ) du signal sonore pour un champ de 60 dB $\mu$ V/m | 26 dB, modulation de référence non pondérée de 30% |

<sup>8</sup> Dans la pratique, nous avons produit un bruit pseudo-aléatoire et nous l'avons ajouté au signal audiophonique du PC.

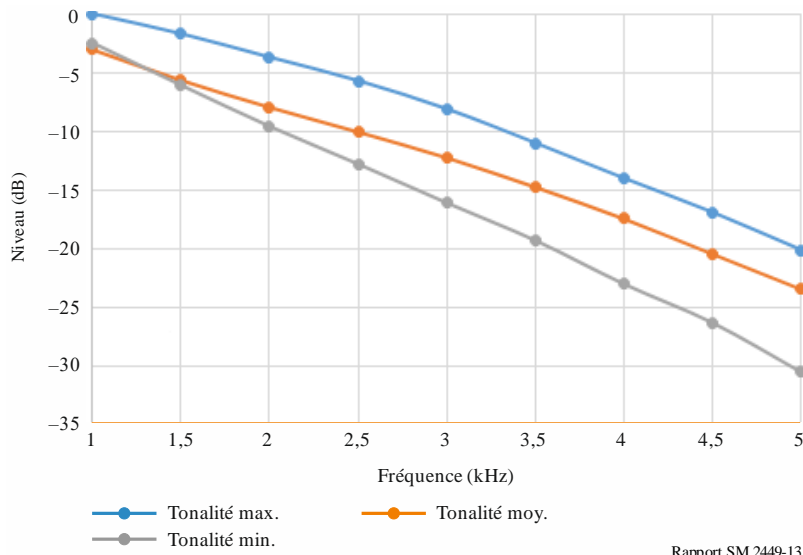
<sup>9</sup> Jusqu'au point où l'étage d'entrée RF du récepteur a été saturé par une intensité excessive du signal.



Deux récepteurs portables, numérotés 1 et 2, étaient tenus à la main; leur degré de conformité au récepteur de référence avait été mesuré. Le récepteur 1 datait des années 1980; il avait un boîtier en bois et se réglait au moyen d'un bouton-poussoir. Le récepteur 2 était plus moderne, et sans être coûteux, il offrait une qualité de fonctionnement raisonnable. Les résultats sont présentés dans les Figs. 13 et 14. Il convient de noter l'effet des réglages de tonalité.

FIGURE 13

Réponse en modulation du récepteur 1

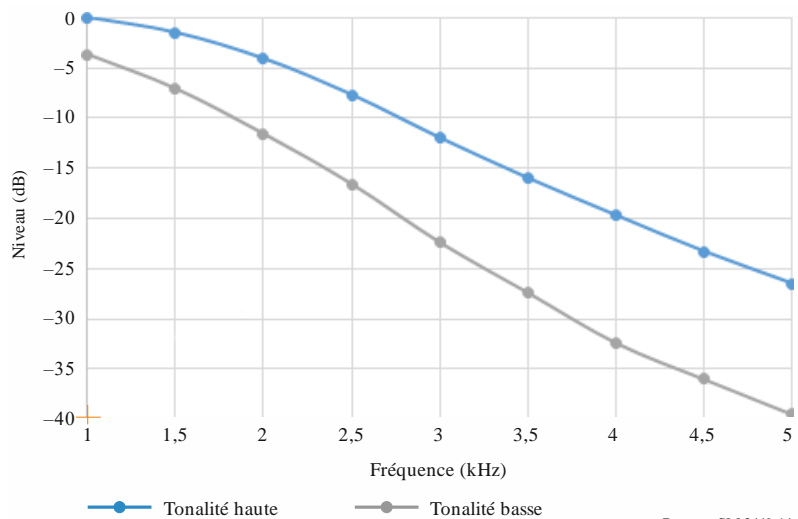


Rapport SM.2449-13

Le récepteur 1 avait un comportement relativement étrange: il semblait avoir une incidence sur le niveau général plus que sur la réponse dans les aigus, qui est (en principe) essentiellement déterminée par les filtres FI. Aux fins des essais de brouillage, la commande doit être réglée au maximum pour que la réponse se maintienne autour de 2 kHz. La réponse à 5 kHz est moins importante car le brouilleur est délibérément placé à un décalage d'environ 2 kHz par rapport à la porteuse utile pour représenter le pire scénario.

FIGURE 14

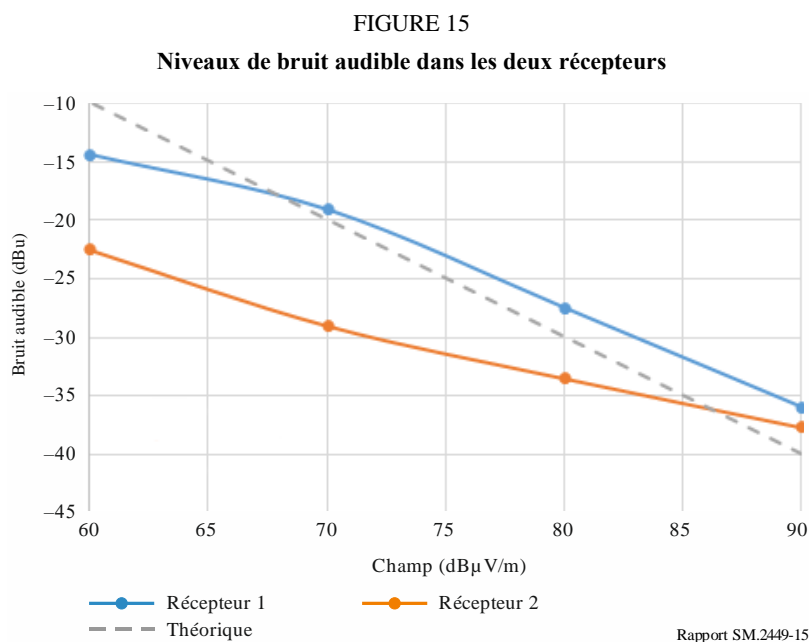
Réponse en modulation du récepteur 2



Rapport SM.2449-14

L'incidence du réglage de tonalité (interrupteur) est réellement considérable. Tout essai doit manifestement être effectué avec l'interrupteur en position «Haute» (il n'y a pas de position intermédiaire entre «Haute» et «Basse») lorsque la réponse en modulation correspond bien à celle du récepteur de référence décrit dans la Recommandation UIT-R BS.703.

Les niveaux de bruit audible ont été mesurés par rapport au champ. Ils sont illustrés dans la Fig. 15.



Les niveaux de bruit ont été reportés sur le diagramme par rapport à une profondeur de modulation MA de 30%, conformément à la Recommandation UIT-R BS.703. (Un «bruit audible» de  $-30$  dB correspond à un rapport  $S/N$  de 30 dB). En théorie, le rapport  $S/N$  devrait augmenter d'un décibel à chaque décibel supplémentaire du signal utile, comme l'indique la ligne en pointillés. Dans la pratique, le bruit «d'appui» (dans les derniers étages du récepteur) indique la limite supérieure, tandis qu'à des niveaux de signaux plus bas la commande automatique de gain (CAG) se trouve en-dehors de la plage de mesure. Lorsque le champ est de  $60$  dBµV/m, le récepteur 1 semble avoir une meilleure qualité de fonctionnement que prévu. Cette observation est toutefois erronée car le niveau du signal utile a baissé en même temps que le bruit.

Le récepteur 2 semble donc être mieux adapté aux essais puisqu'il se conforme plus étroitement à la référence indiquée dans la Recommandation UIT-R BS.703. Il lui manque environ 5 dB dans le rapport  $S/N$ , mais ce n'est pas un problème majeur car il n'est pas réaliste d'envisager de longues distances lorsqu'on évalue les incidences des brouillages. Nous avons employé des distances de séparation plus courtes et un champ de référence plus élevé, comme indiqué au § 3.2.

Il convient de noter que la fréquence de porteuse choisie pour les essais était la fréquence «habituelle» de 999 kHz. Si l'on emploie une autre fréquence, la sensibilité du récepteur sera probablement différente.

#### 5.2.4 Niveaux d'émissions du chargeur

Les niveaux d'émission provenant du chargeur ont été mesurés. Les résultats sont globalement cohérents avec ceux qui figurent aux Tableaux 3 à 6 du présent Rapport.

Nous avons employé un détecteur «fait maison». Il se composait d'un fil de fer enroulé sur dix tours autour d'un court segment de tuyau; le diamètre de la bobine était de 68 mm. La bobine de détection était suivie d'un amplificateur à faible bruit de 30 dB (théorique).

FIGURE 16

Détecteur «maison» (à gauche) et chargeur Qi® (avec une charge)



Rapport SM.2449-16

À une distance d'un mètre, le niveau mesuré sur l'analyseur de spectre était de  $-34$  dBm. Comme le gain du préamplificateur était de  $29$  dB (mesuré), la bobine avait un niveau en sortie de  $-63$  dBm. Un niveau de  $0$  dBm étant équivalent à  $224$  mV, le niveau de  $-63$  dBm équivaut à  $0,159$  mV<sup>10</sup>.

Un champ magnétique  $H$  passant par une bobine de surface  $A$  et dont le nombre de tours est  $N$  donne naissance à un champ électromagnétique (EMF)  $E$  de  $\mu_0 H A N \omega$ , où  $\mu_0$  est la perméabilité de l'espace libre (définie par  $4\pi \times 10^{-7}$ ) et  $\omega$  est la fréquence angulaire. En réorganisant cette relation, nous obtenons:

$$H = E / \mu_0 A N \omega \quad (1)$$

En intégrant les valeurs:  $H = 0,159 \times 10^{-3} / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0,034^2) \times 10 \times (2\pi \times 115 \times 10^3) \}$

nous obtenons  $H = 0,0048$  A/m à une distance de  $1$  m.

Ce champ vaut  $73,6$  dB $\mu$ A/m (ou  $125,1$  dB $\mu$ V/m pour le champ électrique équivalent en espace libre). À  $300$  m, ce champ se réduirait de  $60 \log 300$  dB, soit  $148,6$  dB, ce qui donnerait  $-23,5$  dB $\mu$ V/m. On trouvera au § 5.1 la valeur  $-15$  dB $\mu$ V/m, qui est relativement cohérente compte tenu des différentes incertitudes.

### 5.2.5 Niveaux d'émission harmonique du chargeur

Il convient aussi d'examiner les niveaux relatifs d'harmoniques, car ce sont les harmoniques qui vont brouiller la réception des radios dans les ondes kilométriques et hectométriques.

Pour mesurer les harmoniques, nous avons employé une bobine de détection à quatre tours placée à côté du chargeur, à une distance de  $200$  mm. La géométrie de la bobine était identique à celle qui avait été employée dans les précédentes mesures (voir le paragraphe précédent), mais son fil faisait moins de tours et elle n'était pas équipée d'un amplificateur. La sortie de la bobine était directement raccordée à l'analyseur de spectre (identique à celui que nous avons déjà utilisé). Ce montage a provoqué un affaiblissement de  $6$  dB car la bobine était dotée d'une résistance de terminaison de  $50 \Omega$ .

La précédente mesure avait donné un niveau d'émission fondamental de  $0,034$  A/m à une distance de  $1$  m. Le niveau réellement mesuré dans le nouveau montage était de  $-45$  dBm. Si nous reprenons l'équation 1) ci-dessus:

$$H = E / \mu_0 A N \omega$$

<sup>10</sup> En principe, le dBm est l'unité de puissance d'un système à impédance constante. Dans notre exemple, la bobine fournissait en réalité une tension avec une impédance croissante.

et que nous intégrons les valeurs:

$$H = 1,26 \times 2 \times 10^{-3} / \{(4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0,034^2) \times 4 \times (2\pi \times 115 \times 10^3)\}$$

où  $1,26 \times 10^{-3}$  donne  $-45$  dBm en volts et la valeur 2 sert à compenser l'affaiblissement de terminaison, nous obtenons:

$$H = 0,19 \text{ A/m}$$

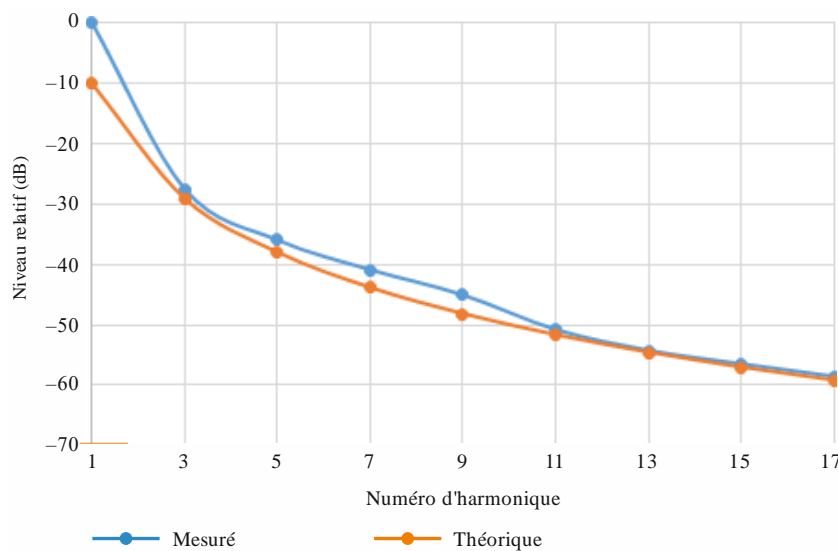
Comme la mesure a été effectuée avec une distance de séparation de 0,2 m et non de 1,0 m, la loi du cube inverse impose de diviser ce nombre par 125 pour pouvoir établir une comparaison:

$$H = 0,0015 \text{ A/m}$$

Le champ à un point perpendiculaire à une antenne doublet est inférieur de moitié à celui d'un point situé à la même distance mais aligné avec l'antenne doublet. Notre résultat est donc raisonnablement cohérent avec le résultat précédent.

FIGURE 17

Niveaux relatifs d'harmoniques du chargeur



Rapport SM.2449-17

La Fig. 17 montre les niveaux relatifs d'harmoniques. Les valeurs ont été normalisées de la manière suivante:

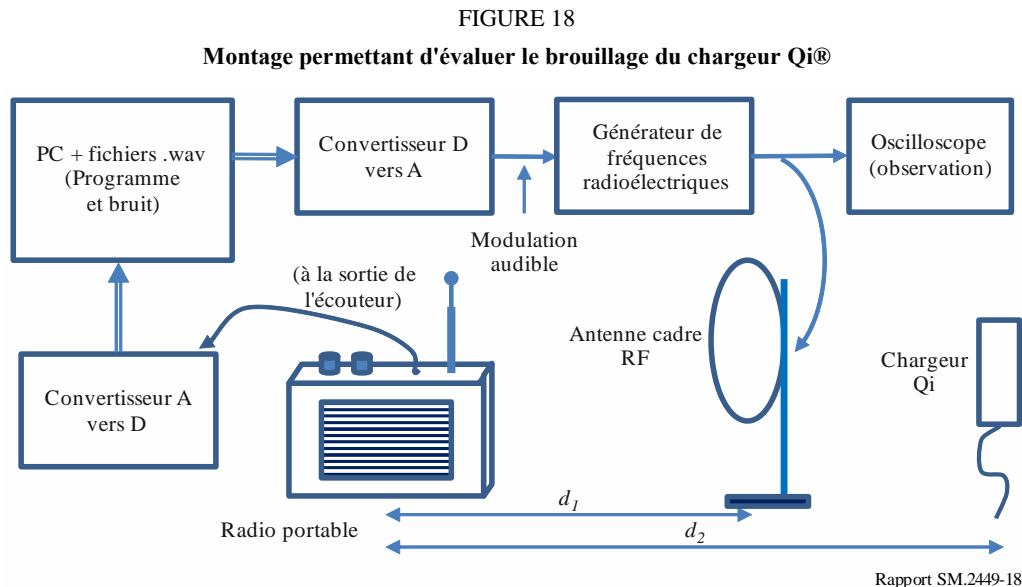
- La composante fondamentale a été fixée à 0 dB.
- Les autres composantes ont subi une soustraction de  $20 \times \log n$ , où  $n$  est le numéro de l'harmonique. Cette méthode permet de compenser la caractéristique de proportionnalité à la fréquence de la bobine.

La courbe «théorique» repose sur l'hypothèse d'une loi de 40 dB par décade ( $1/n^2$ ): 20 dB par décade proviennent de l'inductance de la bobine de transmission (que l'on considère issue d'une source de tension) et les 20 dB par décade restants proviennent du niveau harmonique d'une onde carrée (que l'on considère comme la forme d'onde pilotant la bobine). Ce modèle semble raisonnable. (Bien entendu, il ne sera pas valable pour la composante fondamentale puisque la bobine sera en résonance à cette fréquence).

Si nous prenons l'exemple de la 7<sup>ème</sup> harmonique, le niveau est de 41 dB en-dessous de celui de la composante fondamentale. Si l'on considère que  $H$  est de 0,00482 A/m pour la composante fondamentale, la valeur de la 7<sup>ème</sup> harmonique est de 32,7 dB $\mu$ A/m, soit un champ électrique équivalent d'environ 84,2 dB $\mu$ V/m à une distance de séparation de 1 m.

### 5.2.6 Évaluation des niveaux de brouillage

L'incidence du brouillage produit par la combinaison chargeur/charge a été mesurée de manière à la fois objective et subjective à la sortie audible du récepteur en utilisant le montage illustré dans la Fig. 18.



Ce schéma est relativement explicite. Les éléments du programme sont stockés sur un PC sous forme de fichiers .wav; ils ont également été utilisés dans les premiers essais de systèmes de transmission sans fil<sup>11</sup>. (Ils ont été fournis par les studios Radio 5 de la BBC et compressés comme pour une transmission.) Ils sont exécutés par le biais d'un convertisseur numérique-analogique (ADC) d'une qualité suffisamment élevée pour servir de banc d'essai, et ils servent à moduler un générateur de fréquences radioélectriques. Celui-ci pilote une antenne cadre. Par convention, l'antenne est placée à 600 mm de l'élément faisant l'objet de l'essai (la radio); dans ce cas, le champ électrique équivalent en V/m est numériquement égal à 1/10 du champ électromagnétique source du générateur en V<sup>12</sup>. Enfin, les signaux sortant de la radio, qui contiennent déjà le brouillage, sont convertis vers un format numérique et stockés sur le PC dans des fichiers .wav.

De plus, nous avons employé le logiciel *Audacity* sur le PC pour ajouter un bruit pseudo-aléatoire aux éléments du programme. Cette méthode a contribué au réglage du rapport  $S/N$  des signaux audibles sortant du récepteur sur la valeur de référence de 26 dB par rapport à une profondeur de modulation MA de 30%, quel que soit le champ réel<sup>13</sup>. Lorsqu'on effectue des essais de brouillage subjectifs, l'effet de masquage de tout bruit de fond constitue bien entendu un facteur important.

<sup>11</sup> Ces essais sont décrits par exemple dans le *White Paper* [WHP 322](#) de la BBC.

<sup>12</sup> Ce qui n'implique nullement que l'antenne cadre produise un champ électrique. De fait, cette antenne est blindée pour empêcher ce phénomène. Le champ électrique équivalent est calculé au moyen de la relation classique de champ lointain  $E/H = 377 \Omega$ .

<sup>13</sup> En considérant que le champ a une intensité suffisante pour dépasser le rapport  $S/N$  audible de référence.

Enfin, nous avons vérifié l'étalonnage du système. Le générateur était réglé sur  $-3$  dBm, pour un champ électromagnétique source de  $317$  mV et un champ théorique de  $31,7$  mV/m ( $90$  dB $\mu$ V/m). Le champ magnétique devait donc être de  $31,7 / 377$  mA/m, soit  $38,5$  dB $\mu$ A/m. Nous avons de nouveau employé la bobine de détection à quatre tours pour mesurer le champ réel; le résultat fourni par l'analyseur de spectre était de  $-92$  dBm.

Si nous reprenons l'équation 1) ci-dessus:

$$H = E / \mu_0 A N \omega$$

et que nous intégrons les valeurs:

$$H = (5,63 \times 2 \times 10^{-6}) / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0,034^2) \times 4 \times (2\pi \times 999 \times 10^3) \}$$

où  $5,63 \times 10^{-6}$  donne  $-92$  dBm en volts et la valeur 2 sert à compenser l'affaiblissement de terminaison, nous obtenons:

$$H = 9,818 \times 10^{-5} \text{ A/m, soit } 39,8 \text{ dB}\mu\text{A/m}$$

ce qui est relativement cohérent avec le champ théorique.

### 5.2.6.1 Multiplication avec la distance et effet de la cage de Faraday

Comme nous l'avons indiqué plus haut, il pourrait être pratique d'accroître les niveaux des signaux «utiles» dans le récepteur victime pour évaluer les brouillages causés par un dispositif à des distances supérieures à celles que la cage de Faraday autorise. Si l'on suppose que le récepteur de référence fonctionne à  $60$  dB $\mu$ V/m et que le chargeur provoquant les brouillages est situé à deux mètres de distance, il ressort de la loi du cube inverse que les brouillages augmenteraient de  $18$  dB si la distance était réduite d'un mètre. Dès lors, l'incidence à la sortie du récepteur serait exactement la même si le signal utile était également augmenté de  $18$  dB. Cette règle a néanmoins deux conditions: premièrement, tout bruit produit ailleurs dans le système doit rester au même niveau ( $-26$  dBu par rapport à une profondeur de modulation MA de  $30\%$ ); et deuxièmement, le contrôle automatique de gain au sein du récepteur doit maintenir la sortie du signal (utile) à un niveau pratiquement constant.

Le Tableau 8 indique les niveaux du générateur de signaux correspondant à des facteurs de multiplication allant de 1 à 4. Par hypothèse, l'antenne employée est une antenne cadre et le récepteur victime est situé à  $600$  mm d'elle.

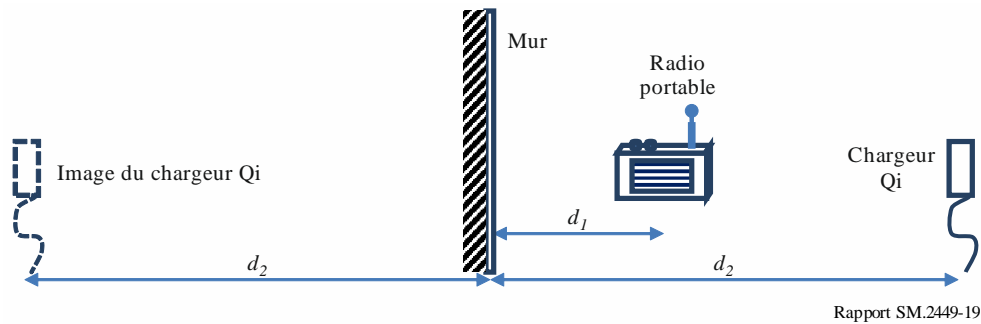
TABLEAU 8

#### Niveaux du générateur pour des facteurs de multiplication particuliers

<b>Niveau du générateur (dBm)</b>	-33	-15	-4,4	+3	Un facteur de 4 signifie qu'un brouilleur situé à $600$ mm a la même incidence qu'un brouilleur situé à $2,4$ m
<b>Facteur de multiplication</b>	1	2	3	4	

Les distances réellement disponibles dans la cage de Faraday sont plus courtes que l'on pourrait croire. En effet, la cage est faite de métal et le métal se comporte comme un réflecteur quasi-parfait. Bien que la cage mesure  $4$  m de long, le brouilleur doit rester à une distance d'environ  $1,2$  m du récepteur. Cette contrainte est illustrée dans la Fig. 19.

FIGURE 19  
Effet de réflexion



Rapport SM.2449-19

Le champ normalisé du chargeur Qi®, tel que mesuré à la sortie de la radio, et sa réflexion ont respectivement pour valeur  $1 / (d_2 - d_1)^3$  et  $1 / (d_2 + d_1)^3$ . Pour obtenir le champ qui en résulte, il faut soustraire le signal réfléchi du signal direct<sup>14</sup>:

Champ résultant

$$1 / (d_2 - d_1)^3 - 1 / (d_2 + d_1)^3$$

Rapport du champ résultant aux champs directs

$$\{ 1 / (d_2 - d_1)^3 - 1 / (d_2 + d_1)^3 \} / 1 / (d_2 - d_1)^3 \\ = 1 - \{ (d_2 - d_1) / (d_2 + d_1) \}^3$$

Si nous intégrons les distances réelles ( $d_1 = 0,5$  m et  $d_2 = 1,2$  m), nous obtenons un rapport de 0,93, soit une erreur de 0,6 dB. Dans cet exemple, l'incidence est trop faible pour être notable et elle peut être corrigée en réduisant légèrement  $d_2$ . Toutefois, l'erreur augmente rapidement à mesure que  $d_2$  s'accroît.

### 5.2.6.2 Échantillons sonores

Certains enregistrements créés au préalable avec 30 secondes de voix et 30 secondes de musique ont été «transmis» à la radio portable. Ces échantillons étaient identiques à ceux qui avaient été employés dans les premiers essais de transmission d'énergie sans fil. Ils étaient issus de la vidéo intitulée «Jérusalem» qui avait été fournie par Radio 5. Ils avaient été traités pour pouvoir être distribués aux stations de Radio 5 émettant dans les ondes hectométriques.

Les enregistrements effectués jusqu'à présent ainsi que leurs commentaires sont les suivants. Dans tous les cas, nous avons choisi la 7ème harmonique du brouilleur. La fréquence se situait généralement autour de 1 MHz, mais elle était variable.

<sup>14</sup> Il peut être plus simple de raisonner en termes de charges électriques. La tension doit être nulle au mur (qui doit être à la terre). Cette situation ne peut se produire que si les charges réelle et imaginaire sont égales et opposées, et qu'elles se trouvent à égale distance du mur.

TABLEAU 9

## Enregistrements effectués jusqu'à présent

Identifiant	Brève description	Commentaires
as_clean	Voix sans dégradation en-dehors du bruit du système à -26 dBu	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
bs_wp0_12_2-4_onc	Comme ci-dessus, plus un brouillage dans le canal provenant du chargeur générique	Le brouillage à une distance réelle de 2,4 m est très gênant
cs_wp0_12_2-4_offc	Comme ci-dessus, plus un brouillage hors canal	Le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
ds_wp0_12_2-4_idle	Comme ci-dessus, mais la charge a été retirée du chargeur	Là encore, le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
em_clean	Musique sans dégradation en-dehors du bruit du système à -26 dBu	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
fm_wp0_12_2-4_onc	Comme ci-dessus, plus un brouillage dans le canal provenant du chargeur générique	Le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
gm_wp0_12_2-4_offc	Comme ci-dessus, plus un brouillage hors canal	Là encore, le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
hm_wp0_12_2-4_idle	Comme ci-dessus, mais la charge a été retirée du chargeur	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
is_wp7_s7_2-4_onc	Un téléphone intelligent produit un brouillage dans le canal lors de la réception de signaux vocaux	Les résultats sont très proches de ceux obtenus avec le chargeur générique
jm_wp7_s7_2-4_onc	Comme ci-dessus, mais les signaux sont de la musique	Comme ci-dessus

Il a été difficile d'obtenir des résultats cohérents car il arrivait que le brouilleur passe sur un canal différent sans prévenir. Au demeurant, même lorsqu'il était stable, il sautait alternativement entre deux fréquences fixes; or la radio ne recevait que l'une de ces deux fréquences. Le taux d'inversion entre ces deux fréquences était d'environ un saut par seconde, ce qui créait une «signature» audible facile à reconnaître. Le brouillage hors canal était normalement presque inaudible, mais tout dépendait de la distance au canal de référence.

Compte tenu du fait que ces effets étaient peu subtils, il n'était pas réellement nécessaire d'employer l'échelle habituelle de dégradation à 5 notes établie par l'UIT: soit le brouillage était intolérable, soit il était inaudible.

### 5.3 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service d'amateur

#### 5.3.1 Paramètres employés dans la simulation

Aux États-Unis d'Amérique, les exigences de mesure relatives aux dispositifs fonctionnant dans les fréquences radioélectriques en champ proche sont régies par le § 47 CFR Part 15.31 (2). Après avoir appliqué le facteur d'extrapolation imposé par la FCC, qui est de 40 dB par décade pour un champ



de  $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  à 300 m, la limite des dispositifs WPT n'utilisant pas de faisceau est de  $44,08 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  à 10 m. Une modélisation a été employée pour la propagation en champ proche.

Les paramètres concernant les récepteurs du service d'amateur ont été repris de la Recommandation UIT-R M.1732 et sont illustrés dans le Tableau 10. Cette Recommandation n'établit pas de critère de protection contre les brouillages pour les activités d'amateur dans la bande de fréquences concernée. Aux fins de la présente étude, nous avons pris pour hypothèse un critère de protection  $I/N$  de  $-6 \text{ dB}$ .

TABLEAU 10

**Paramètres pris par hypothèse pour le récepteur du service d'amateur**

Paramètres	Valeur
Fréquence centrale (kHz)	136,75
Largeur de bande (kHz)	0,4
Diagramme d'antenne	Équidirective
Niveau de bruit minimum ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	31,6
Critère de protection ( $I/N$ ) (dB)	-6
Niveau de brouillage acceptable ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	25,6

**5.3.2 Analyse et résultats de la simulation**

**5.3.2.1 Scénarios à un seul dispositif**

Dans les scénarios d'étude d'un seul dispositif de transmission d'énergie sans fil (WPT), ce dispositif était placé à l'intérieur d'un bâtiment, le récepteur d'amateur étant situé à l'extérieur. Dans la première simulation, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments était de 3 dB; dans la seconde, il était de 10 dB pour tenir compte du fait que les bâtiments sont construits avec des matériaux différents.

FIGURE 20  
Scénario à un seul dispositif

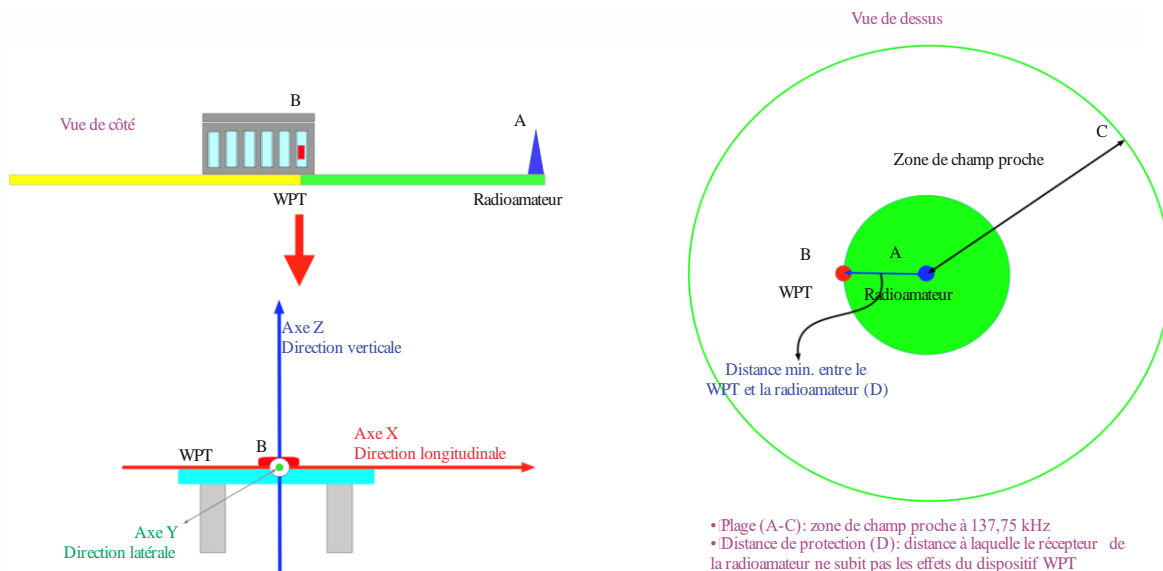
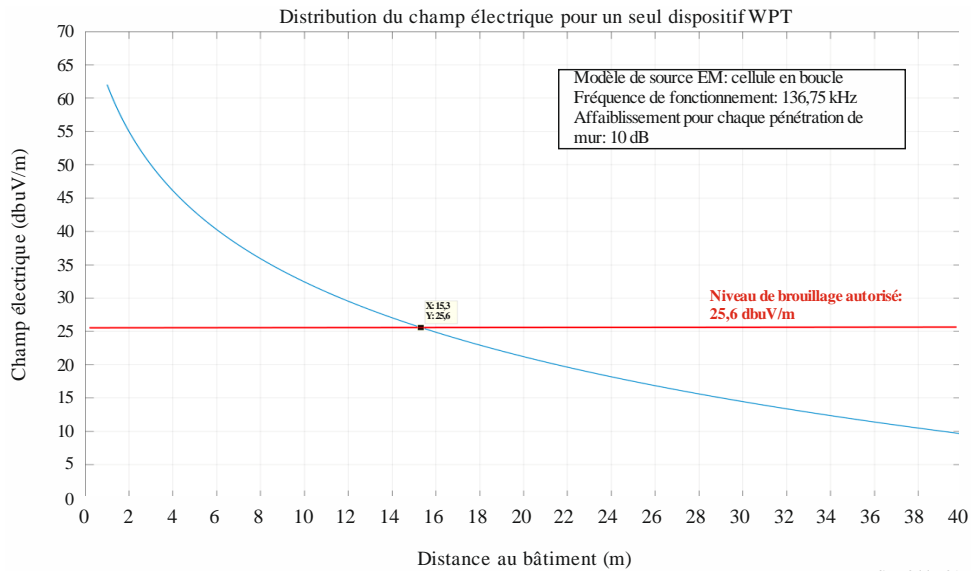


FIGURE 21

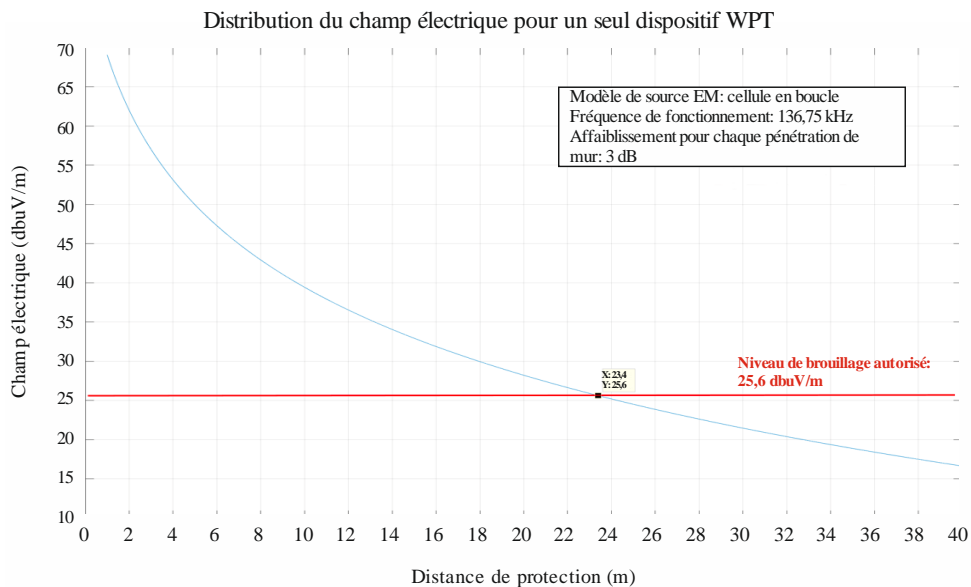
**Distribution pour le scénario 1 à un seul dispositif**

Rapport SM.2449-21

**Conclusions pour le scénario 1 à un seul dispositif**

Les résultats du scénario 1 concernant un seul dispositif, dans lequel l'affaiblissement était de 10 dB pour simuler des murs en béton, montrent que le dispositif WPT doit être placé à plus de 15,3 m du récepteur de radioamateur.

FIGURE 22

**Distribution pour le scénario 2 à un seul dispositif**

Rapport SM.2449-22

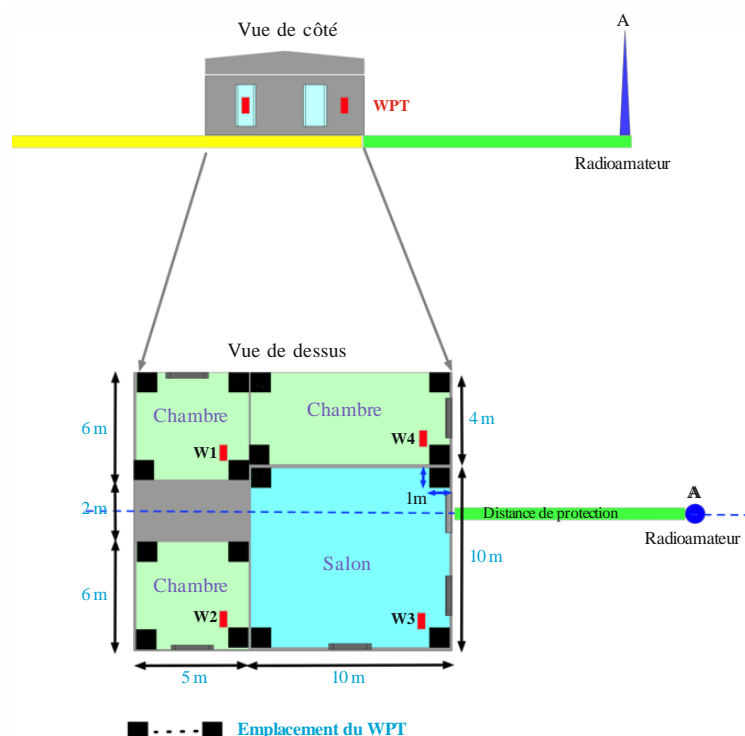
**Conclusions pour le scénario 2 à un seul dispositif**

Les résultats du scénario 2 concernant un seul dispositif, dans lequel l'affaiblissement était de 3 dB pour simuler des murs en bois, montrent que le dispositif WPT doit être placé à plus de 23,4 m du récepteur de radioamateur.

### 5.3.2.2 Scénarios à plusieurs dispositifs

Ces scénarios reposent sur l'emploi de quatre dispositifs WPT situés à l'intérieur d'un bâtiment. Chaque dispositif WPT est placé à 1 m des murs, les quatre dispositifs étant répartis de manière aléatoire dans différents coins des pièces. Dans le premier scénario, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments était de 10 dB pour simuler les effets de murs en béton ou en briques; dans le second, il était de 3 dB pour simuler un bâtiment en bois.

FIGURE 23  
Description du modèle correspondant au scénario 1 à plusieurs dispositifs



Rapport SM.2449-23

Pour simuler différents matériaux de construction du bâtiment, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments a été évalué pour des murs en bois et en béton afin de déterminer la distance de protection. Les valeurs correspondantes sont indiquées dans le Tableau 11.

TABLEAU 11

#### Valeurs employées pour l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments

Paramètre	Nombre de murs	Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments – Murs en bois (dB)	Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments – Murs en béton (dB)
WPT1	2	6	20
WPT2	2	6	20
WPT3	1	3	10
WPT4	1	3	10

FIGURE 24

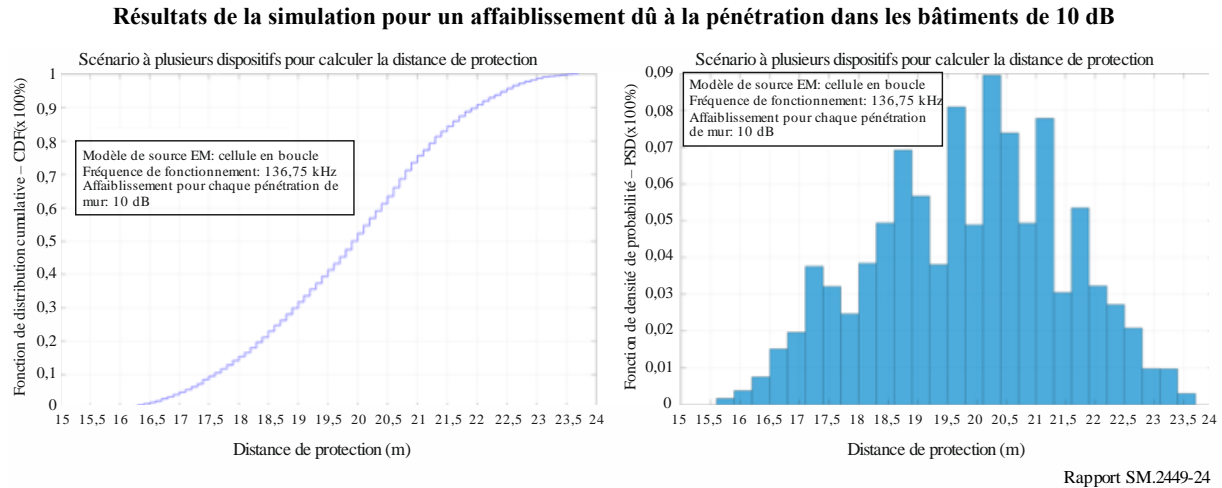
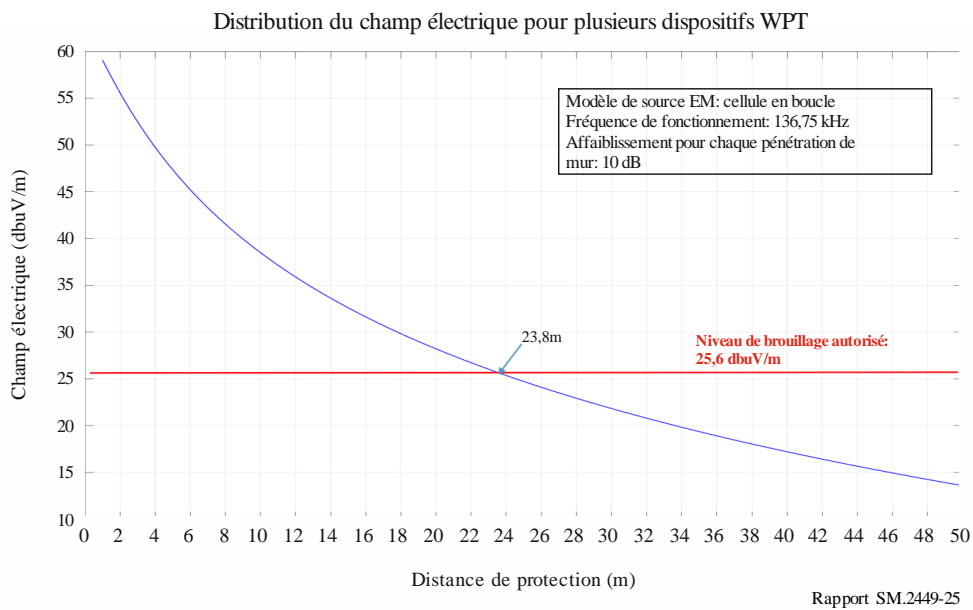


FIGURE 25

**Distribution du champ électrique pour plusieurs dispositifs WPT pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 10 dB**



### Conclusions pour le scénario 1 à plusieurs dispositifs

La distance de protection minimale est de 15,5 m et la distance maximale de 23,8 m pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 10 dB lorsque les murs sont en béton. Cette fourchette de valeurs découle du fait que les dispositifs WPT ont été placés près des fenêtres. La distance maximale de 23,8 m est relevée lorsque le dispositif WPT est proche d'une fenêtre, et la distance minimale de 15,5 est relevée lorsque le dispositif WPT est placé à côté d'un mur intérieur.

FIGURE 26

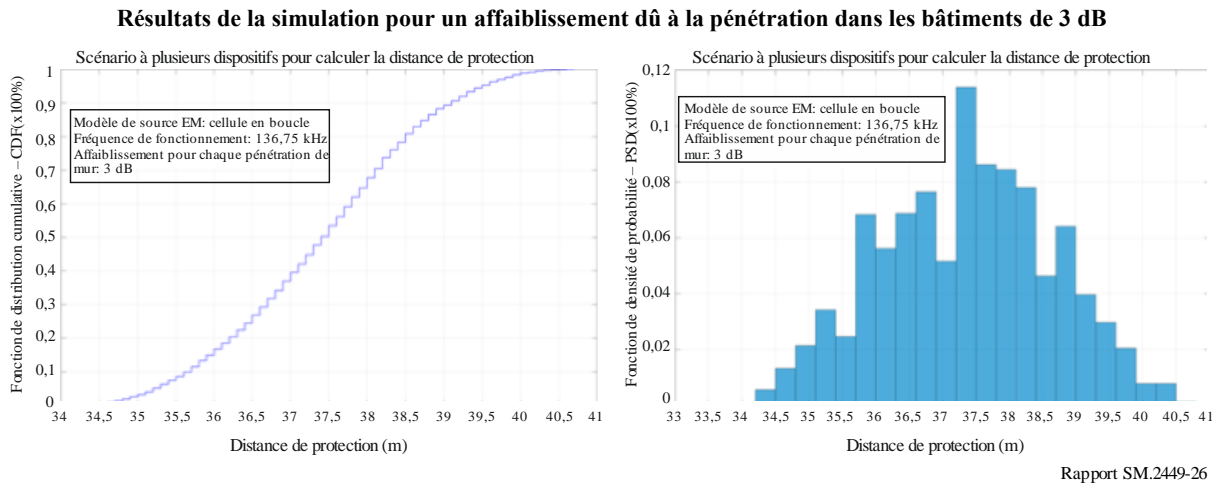
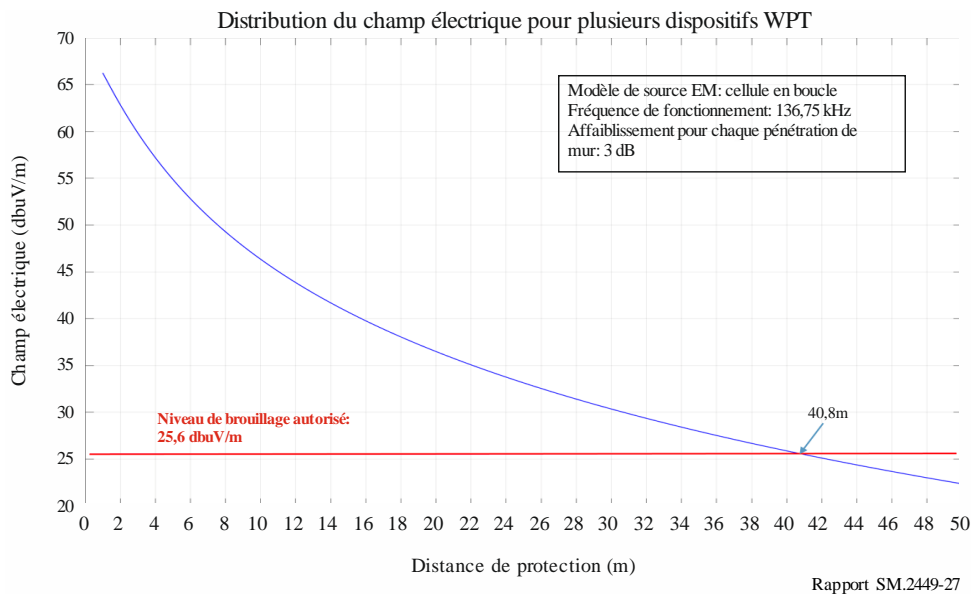


FIGURE 27

**Distribution du champ électrique pour plusieurs dispositifs WPT pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 3 dB**



**Conclusions pour le scénario 2 à plusieurs dispositifs**

La distance de protection minimale est de 33,8 m et la distance maximale de 40,8 m pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 3 dB lorsque les murs sont en bois. Cette fourchette de valeurs découle du fait que les dispositifs WPT ont été placés près des fenêtres. La distance maximale de 40,8 m est relevée lorsque le dispositif WPT est proche d'une fenêtre, et la distance minimale de 33,8 est relevée lorsque le dispositif WPT est placé à côté d'un mur intérieur.

**5.3.3 Résumé des résultats**

Le Tableau 12 ci-dessous présente un résumé des résultats des simulations. Au regard de ces résultats, nous pouvons conclure que des chargeurs mobiles WPT n'utilisant pas de faisceau n'ont pas d'incidence sur les récepteurs du service d'amateur lorsqu'ils sont situés à plus de 40,8 m de ces récepteurs.

TABLEAU 12

## Résumé des résultats

Scénario	Niveau de brouillage autorisé (dB $\mu$ V/m)	Distance de séparation (m)
Scénario 1 à un seul dispositif	25,6	15,3
Scénario 2 à un seul dispositif	25,6	23,4
Scénario 1 à plusieurs dispositifs	25,6	23,8
Scénario 2 à plusieurs dispositifs	25,6	40,8

#### 5.4 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service de radionavigation

Le récepteur Loran-C, qui fonctionne dans la bande de fréquences 90-110 kHz avec une largeur de bande de 20 kHz, est considéré comme un système existant victime de brouillages. Les caractéristiques du système Loran-C ont été établies par le GT 5B dans la Recommandation UIT-R M.589. La Fig. 28 présente quelques exemples d'émetteur de ce système, le récepteur étant embarqué sur un navire.

FIGURE 28

## Stations Loran-C dans des zones non résidentielles



Rapport SM.2449-28

##### 5.4.1 Paramètres employés dans la simulation

Les Tableaux 13 et 14 présentent les paramètres employés dans la simulation respectivement pour le brouilleur et le récepteur victime.

Aux États-Unis d'Amérique, les exigences de mesure relatives aux dispositifs fonctionnant dans les fréquences radioélectriques en champ proche sont régies par le § 47 CFR Part 15.31 (2). Après avoir appliqué le facteur d'extrapolation imposé par la FCC, qui est de 40 dB par décade pour un champ de  $-15$  dB $\mu$ V/m à 300 m, la limite de ces dispositifs est de 44,08 dB $\mu$ V/m à 10 m.

Le modèle de propagation employé pour le champ proche et le champ lointain est repris du Rapport UIT-R SM.2028.

Dans les scénarios de brouillage simulés, le dispositif WPT était placé sur une table à l'intérieur d'un bâtiment situé à 50 m de la côte, entre l'émetteur et le récepteur, ce dernier étant embarqué sur un navire en mer. L'émetteur du Loran-C est situé à l'intérieur des terres, à 5 km de la côte.

TABLEAU 13

**Paramètres pris par hypothèse pour le brouillage causé  
par le dispositif WPT au récepteur du Loran-C**

Paramètres	Détails
Type de dispositif	Dispositif WPT mobile
Fréquences de fonctionnement (kHz)	100-148,5 kHz
Champ électrique rayonné (dB $\mu$ V/m à 10 m)	44,08
Type d'antenne	Équidirective
Hauteur (m)	0,7
Distance minimale à partir de la côte (m)	50
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB)	10
Modèle de propagation	Modèle de champ proche et en espace libre

TABLEAU 14

**Paramètres pris par hypothèse pour le récepteur victime du Loran-C**

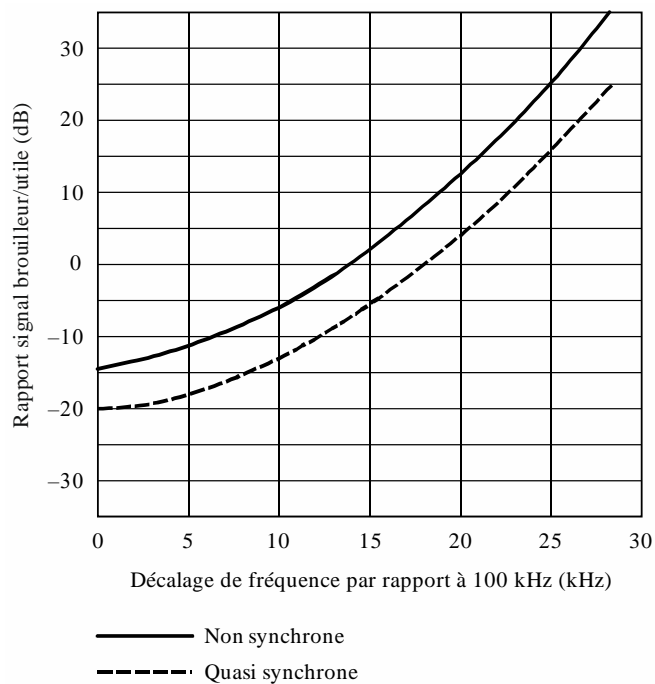
Paramètres	Détails
Système victime	Récepteur du Loran-C
Fréquences de fonctionnement (kHz)	100
Largeur de bande (kHz)	20
Diagramme d'antenne	Antenne tige
Puissance en sortie de l'émetteur de la station Loran-C (kW)	40
Champ protégé minimal du signal du Loran-C (dB $\mu$ V/m)	45
Critère de protection (I/S)	-20 dB

Le critère de protection employé est repris de la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R M.589. Selon ce document, le critère de protection concernant les brouillages dans la bande et hors bande devrait suivre la courbe de la Fig. 29. Nous avons employé la courbe correspondant au pire scénario (quasi-synchrone) pour évaluer le risque de brouillage.

Nous avons considéré que le pire scénario était de -20 dB par rapport à la courbe quasi-synchrone à 100 kHz (soit un décalage de 0 kHz par rapport à 100 kHz); un bruit de 25 dB $\mu$ V/m est donc acceptable dans le récepteur du Loran-C. Nous avons en outre considéré que le pire scénario était de -13 dB par rapport à la courbe quasi-synchrone à 110 kHz; un bruit de 32 dB $\mu$ V/m est donc acceptable dans le récepteur du Loran-C. Compte tenu de ces hypothèses, et aux fins de la présente évaluation, nous avons appliqué un niveau de bruit maximal acceptable de 25 dB $\mu$ V/m à 100 kHz dans le récepteur du Loran-C. La Fig. 29 ci-dessous montre le critère de protection contre les brouillages indiqué dans la Recommandation UIT-R M.589, et le Tableau 15 résume les paramètres de brouillage pris par hypothèse.

FIGURE 29

## Critère de protection Loran-C/onde entretenue



Rapport SM.2449-29

TABLEAU 15

## Paramètres pris par hypothèse pour le récepteur victime du Loran-C

Fréquence du brouilleur	Champ minimum du signal utile	Critère de protection Loran-C/ onde entretenue (quasi-synchrone)	Bruit acceptable dans le récepteur du Loran-C (dB $\mu$ V/m)
100 kHz	45	-20	25
110 kHz	45	-13	32

TABLEAU 16

## Rapport E/H employé pour calculer le champ proche électrique à partir du dispositif WPT

Distance (m)	Rapport E/H (dB-ohms)
10	17,95
100	38,32
1 000	53,26
2 000	52,01
5 000	51,61
10 000	51,55

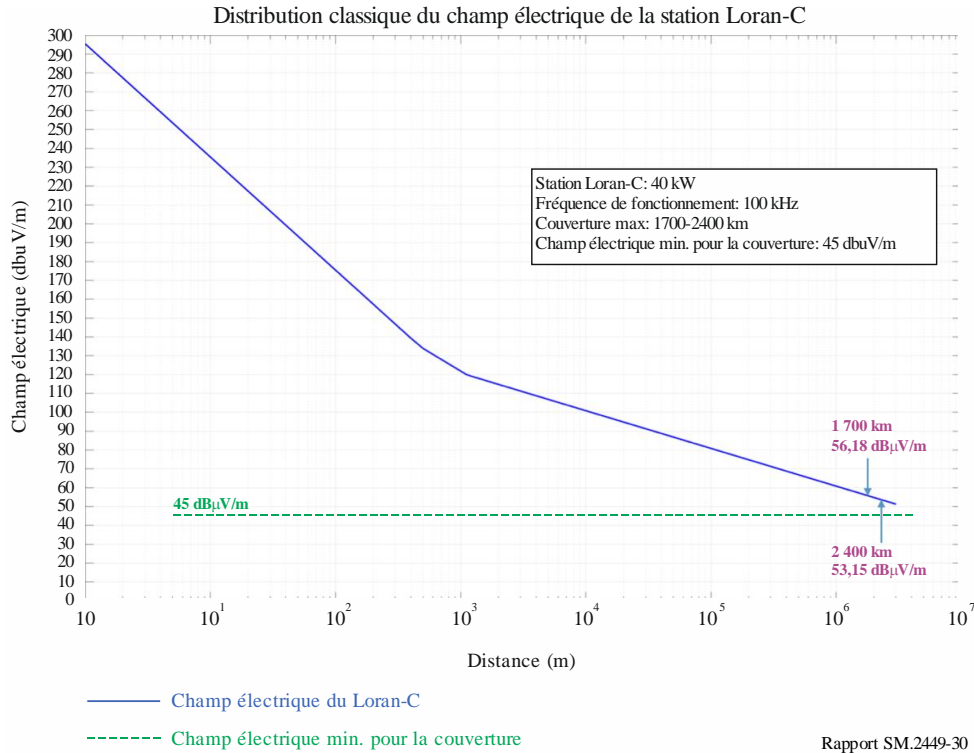


### Distribution du champ du signal émis par la station Loran-C

La Fig. 30 illustre la distribution du champ électrique de la station Loran-C à mesure que la distance s'accroît, pour une puissance de 40 kW à la station. À l'intérieur de la zone visée, qui se situe entre 1 700 et 2 400 km, le champ du signal de la station est très supérieur au niveau minimum requis.

FIGURE 30

#### Distribution classique du champ électrique de la station Loran-C

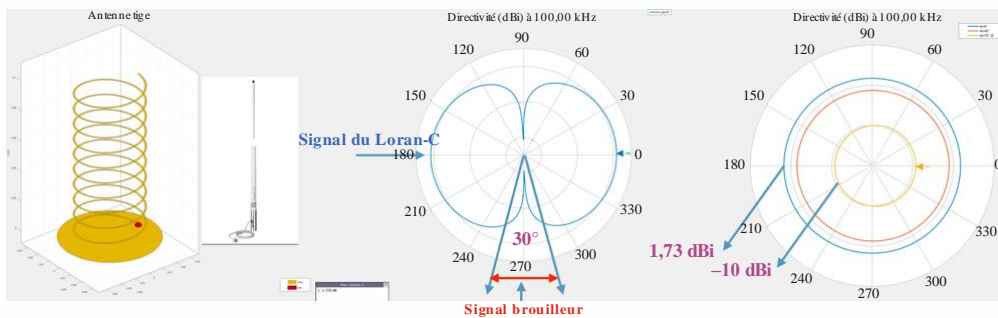


### Modèle d'antenne du récepteur Loran-C

Aux fins de cette évaluation, nous avons considéré que l'antenne du récepteur du Loran-C était une antenne tige montée au sommet du navire. Selon les résultats de la simulation présentés dans la Fig. 31, la variation de gain d'antenne entre le signal non désiré et le signal utile est de  $-11,73$  dB.

FIGURE 31

#### Gain d'antenne du récepteur du Loran-C



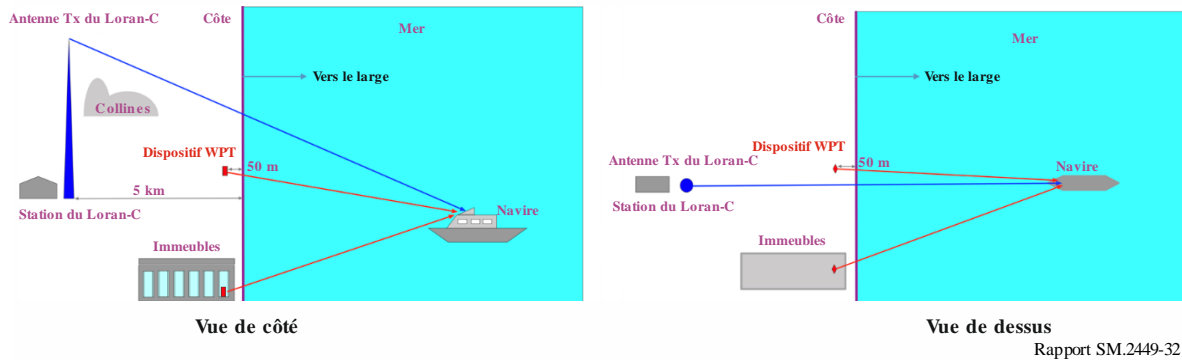
## 5.4.2 Scénarios et résultats de la simulation

### 5.4.2.1 Modèle de simulation N° 1

Dans le modèle N° 1, nous avons considéré que le dispositif WPT se trouvait dans un immeuble ou à proximité d'un immeuble situé à 50 m de la côte. Le récepteur du Loran-C, qui était embarqué à bord d'un navire, était victime de brouillages.

FIGURE 32

Modèle N° 1 de l'étude des incidences sur le récepteur du Loran-C



Rapport SM.2449-32

La Fig. 33 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 1 (scénario à un seul dispositif). Lorsque le dispositif WPT fonctionne à 100 kHz, il y a une marge de 80 dB entre le signal à protéger (26,21 dB $\mu$ V/m) et le champ électrique de l'émetteur du Loran-C, qui est supérieur à 110 dB $\mu$ V/m sur la côte.

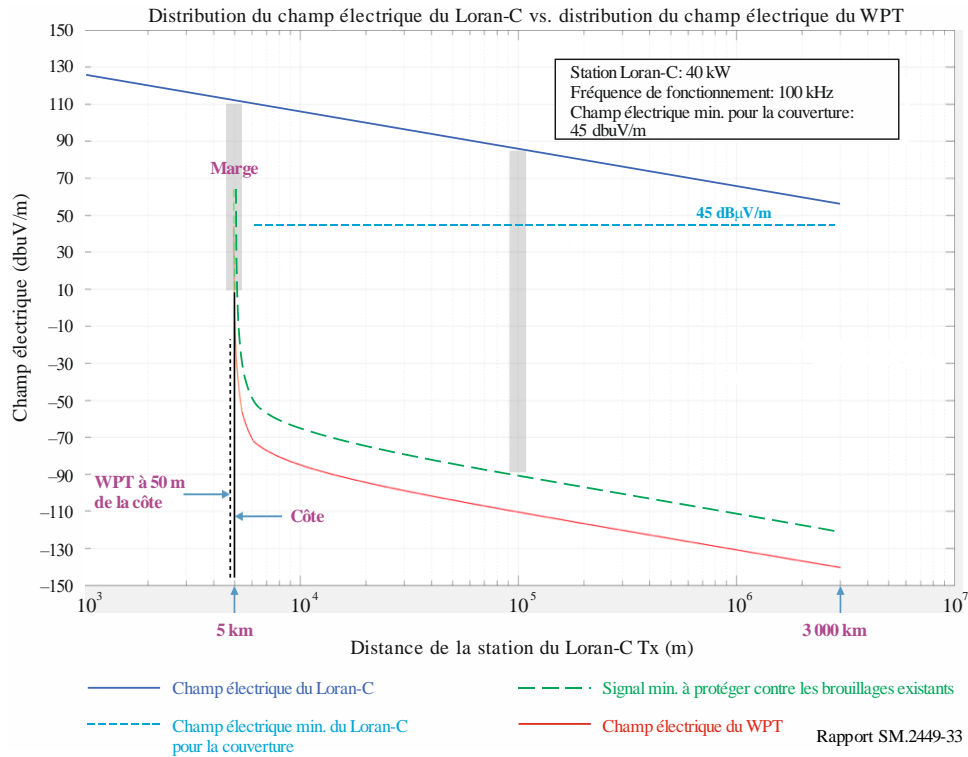
TABLEAU 17

Modèle N° 1 concernant le récepteur du Loran-C (un seul dispositif)

Paramètres	Valeur
Champ électrique du dispositif WPT à 300 m (dB $\mu$ V/m)	-15
Champ électrique du dispositif WPT à 10 m (dB $\mu$ V/m)	44,08
Champ électrique du dispositif WPT à 50 m de la côte (dB $\mu$ V/m)	16,12
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB)	10
Rapport de protection (dB)	20
Niveau du signal à protéger (dB $\mu$ V/m) à une distance de protection de base de 50 m	26,12
Champ du signal de la station Loran-C (dB $\mu$ V/m) sur la côte	>110
Marge (dB)	>80

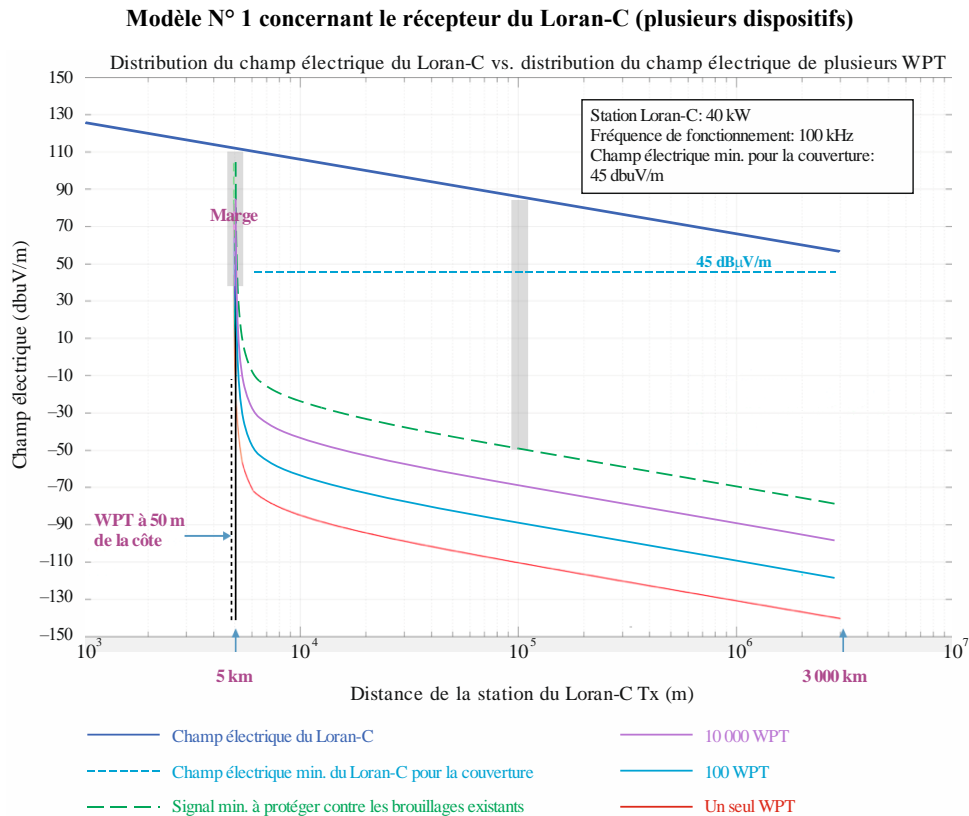
FIGURE 33

Modèle N° 1 concernant le récepteur du Loran-C (un seul dispositif)



La Fig. 34 synthétise les résultats obtenus dans les scénarios à plusieurs dispositifs. Elle illustre les niveaux de signal du champ électrique lorsque 100 ou 10 000 dispositifs WPT fonctionnent simultanément. Lorsque 10 000 dispositifs WPT fonctionnent à 100 kHz simultanément, il y a une marge de 3,88 dB entre le signal à protéger (66 dB $\mu$ V/m pour 100 dispositifs et 106,12 dB $\mu$ V/m pour 10 000 dispositifs) et le champ électrique de l'émetteur du Loran-C, qui est supérieur à 110 dB $\mu$ V/m sur la côte.

FIGURE 34



#### 5.4.2.2 Modèle de simulation N° 2

Dans le modèle N° 2, nous avons considéré que l'émetteur du Loran-C situé sur terre se trouvait à 5 km de la côte. Le dispositif WPT mobile se trouvait plus bas que le pont du navire et le récepteur du Loran-C était en haut du navire. En reprenant dans le Tableau 16 l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 10 dB et le rapport E/H de 17,95 dB, le brouillage autorisé du champ électrique à 10 m est de 34,08 dBµV/m. Comme il est indiqué dans le Tableau 14, le rapport I/S doit être de -20 dB I/S. Le niveau maximal acceptable de signal brouilleur est alors de 42,35 dBµV/m selon l'équation ci-dessous, pour un dispositif WPT mobile fonctionnant à 10 m de l'antenne de réception du Loran-C.

L'équation permettant de calculer le niveau maximum acceptable au récepteur du Loran-C est la suivante:

$$\text{Niveau de brouillage} - \text{variation de gain} + \text{niveau de protection} =$$

$$34,08 - 11,73 + 20 = 42,35 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

#### Modèle N° 2 – Scénario à un seul dispositif

Le Tableau 18 présente les paramètres d'entrée et les résultats de la simulation effectuée selon le modèle N° 2 dans un scénario à un seul dispositif. Les résultats montrent qu'un dispositif WPT présentant un champ électrique de 34,08 dBµV/m devrait être placé à une distance supérieure à 5,37 m de l'antenne de réception du Loran-C pour maintenir un niveau de signal minimum à la distance de couverture maximale de 2 400 km.

TABLEAU 18

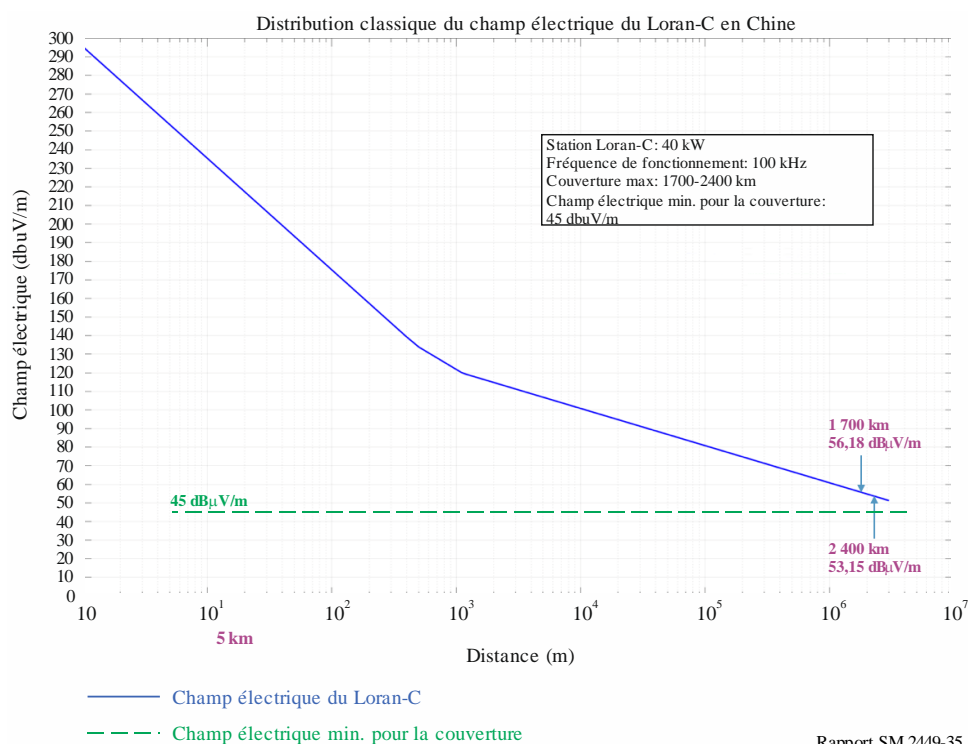
## Modèle N° 2 concernant le récepteur du Loran-C (un seul dispositif)

Paramètres	Valeur
Champ électrique du dispositif WPT à 300 m (dB $\mu$ V/m)	-15
Champ électrique du dispositif WPT à 10 m (dB $\mu$ V/m)	44,08
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB)	10
Champ électrique du dispositif WPT à 10 m (dB $\mu$ V/m) avec l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	34,08
Variation du gain d'antenne pour le signal utile et le brouillage du WPT (dB)	-11,73
Rapport de protection (dB)	20
Niveau du signal à protéger (dB $\mu$ V/m) à une distance de protection de base de 10 m	42,35
Couverture du niveau de signal protégé (km) à une distance de protection de base de 10 m	8355
Distance de protection (m) pour une couverture de 1 700 km	4,51
Distance de protection (m) pour une couverture de 2 400 km	5,37

La Fig. 35 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 2 dans le scénario à un seul dispositif. Elle illustre les résultats relatifs à la distance de protection qui sont indiqués dans le Tableau 18.

FIGURE 35

## Modèle N° 2 de l'étude des incidences sur le récepteur du Loran-C (un seul dispositif)

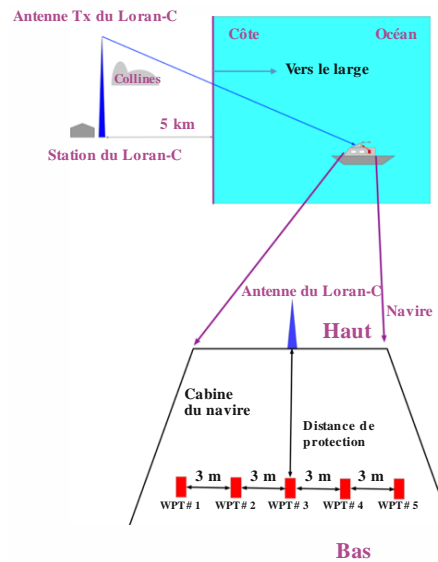


### Modèle N° 2 – Scénario à plusieurs dispositifs

Dans ce scénario, nous avons considéré que cinq dispositifs WPT mobiles fonctionnaient simultanément en-dessous du niveau du pont du navire, les dispositifs étant séparés de 3 m les uns des autres, comme le montre la Fig. 36. Les paramètres d'entrée du scénario à plusieurs dispositifs sont indiqués dans le Tableau 19.

FIGURE 36

Modèle N° 2 concernant le récepteur du Loran-C (plusieurs dispositifs)



Rapport SM.2449-36

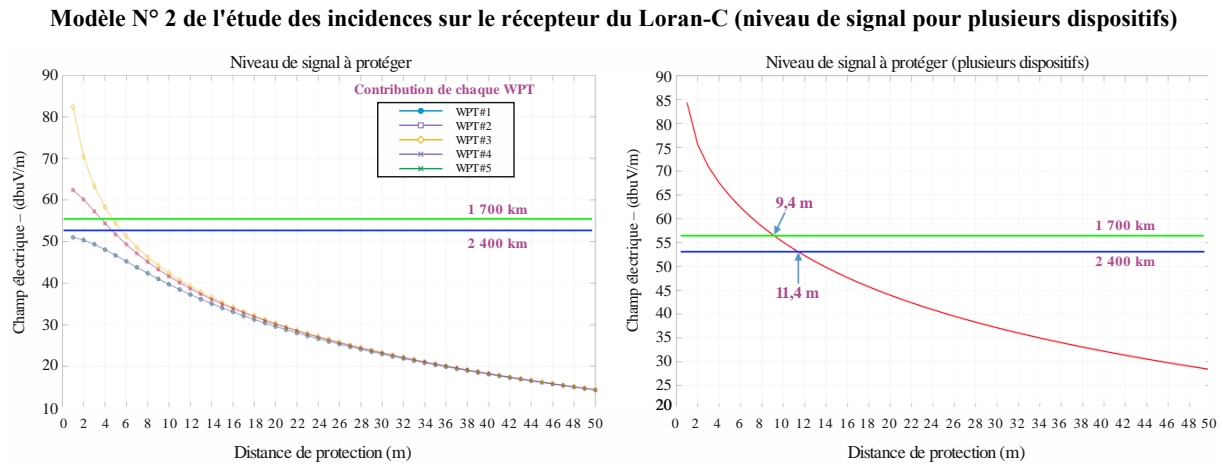
TABLEAU 19

Modèle N° 2 concernant le récepteur du Loran-C (plusieurs dispositifs)

Paramètres	Valeur
Nombre de dispositifs WPT actifs	5
Champ électrique du dispositif WPT à 300 m (dB $\mu$ V/m)	-15
Champ électrique du dispositif WPT à 10 m (dB $\mu$ V/m)	44,08
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB)	10
Champ électrique du dispositif WPT à 10 m (dB $\mu$ V/m) avec l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	34,08
Variation du gain d'antenne pour le signal utile et le brouillage du WPT (dB)	-11,73
Rapport de protection (dB)	20
Couverture du niveau de signal protégé (km) à une distance de protection de base de 10 m	8355
Niveau du signal à protéger à 1 700 km (dB $\mu$ V/m)	56,18
Distance de protection (m) pour une couverture de 1 700 km	9,4
Niveau du signal à protéger à 2 400 km (dB $\mu$ V/m)	53,13
Distance de protection (m) pour une couverture de 2 400 km	11,4

La Fig. 37 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 2 dans le scénario à plusieurs dispositifs. Pour ne pas brouiller le récepteur du Loran-C à la couverture maximale de 2 400 km, les dispositifs WPT les plus proches de l'antenne de réception du Loran-C doivent être éloignés de 11,4 m.

FIGURE 37



### 5.4.3 Résumé des résultats

Dans le scénario du modèle N° 1, le récepteur du Loran-C ne subit pas de brouillage lorsque les dispositifs WPT mobiles sont situés sur terre.

Dans le scénario du modèle N° 2 à un seul dispositif, le récepteur du Loran-C ne subit pas de brouillage de la part des dispositifs WPT mobiles embarqués lorsque ces dispositifs sont éloignés de 4,51 m de l'antenne de réception du Loran-C pour une distance de couverture maximale de 1 700 km, et lorsqu'ils sont éloignés de 5,37 m de l'antenne de réception pour une distance de couverture maximale de 2 400 km.

Dans le scénario du modèle N° 2 à plusieurs dispositifs, le récepteur du Loran-C ne subit pas de brouillage de la part des dispositifs WPT mobiles embarqués lorsque le dispositif WPT le plus proche est éloigné de 9,4 m de l'antenne de réception du Loran-C pour une distance de couverture maximale de 1 700 km, et de 11,4 m de l'antenne de réception pour une distance de couverture maximale de 2 400 km.

## 5.5 Étude concernant les incidences des applications WPT par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service de radionavigation aéronautique

### 5.5.1 Paramètres employés dans la simulation

Aux États-Unis d'Amérique, les exigences de mesure relatives aux dispositifs fonctionnant dans les fréquences radioélectriques en champ proche sont régies par le § 47 CFR Part 15.31 (2). Après avoir appliqué le facteur d'extrapolation imposé par la FCC, qui est de 40 dB par décade pour un champ de  $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  à 300 m, la limite de ces dispositifs est de  $44,08 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  à 10 m. Une modélisation a été employée pour la propagation en champ proche.

Le groupe concerné au sein de l'UIT-R a fourni les données de base qui sont présentées dans le Tableau 20 ci-dessous afin de permettre l'analyse de ces incidences.

TABLEAU 20

**Limite de brouillage autorisé pour les systèmes de radiogoniométrie automatique (ADF)  
et les radiophares non directionnels (NDB)**

Services	Bande de fréquences (kHz)	Largeur de bande du récepteur ADF/NDB (kHz)	Limite de brouillage autorisé (dB $\mu$ V/m)
Radionavigation aéronautique	130-535	2,7	21,9

### 5.5.2 Scénarios et résultats de la simulation

#### 5.5.2.1 Scénario à un seul dispositif

Dans ce scénario, un seul dispositif WPT est placé dans un bâtiment, l'aéronef étant situé directement au-dessus du bâtiment.

FIGURE 38  
Scénario à un seul dispositif

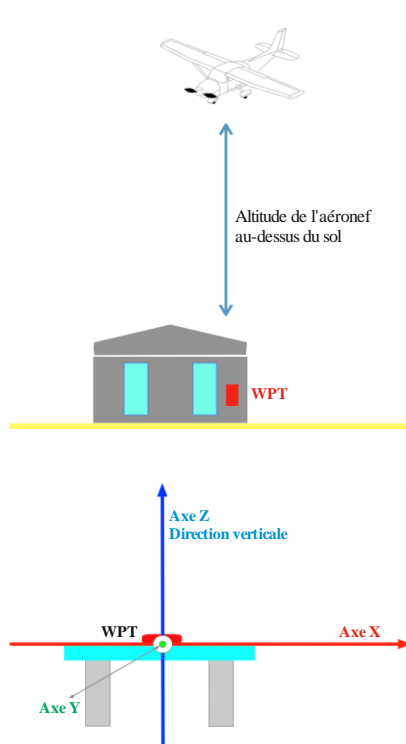




FIGURE 39  
 Champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus du sol (m)

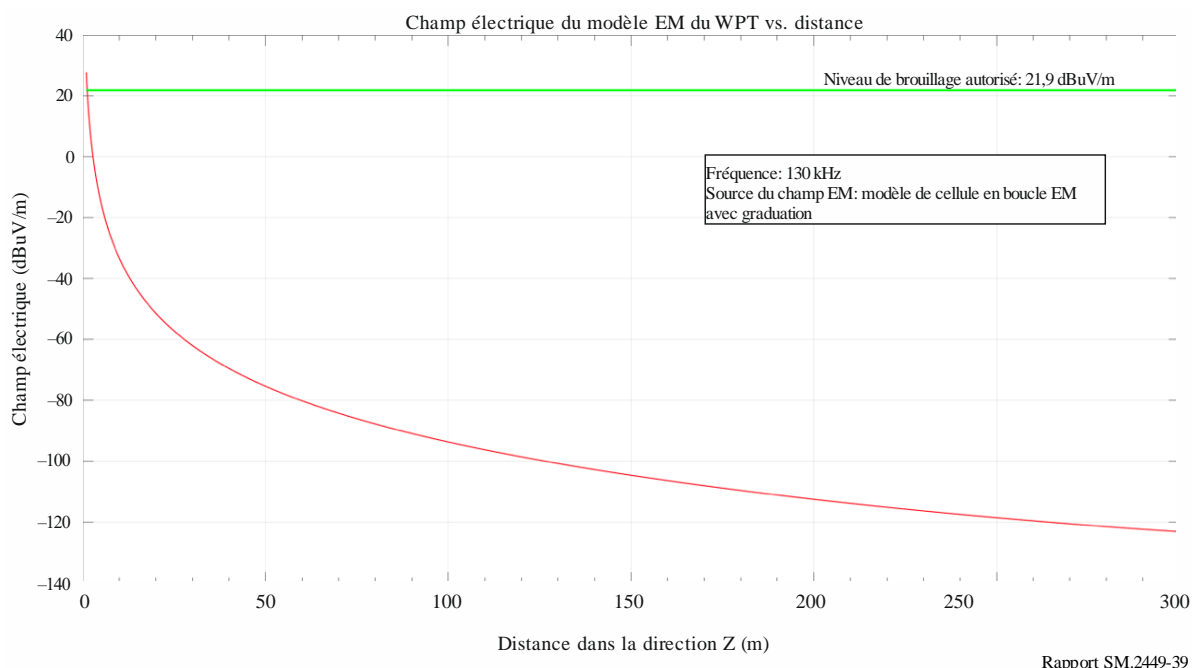
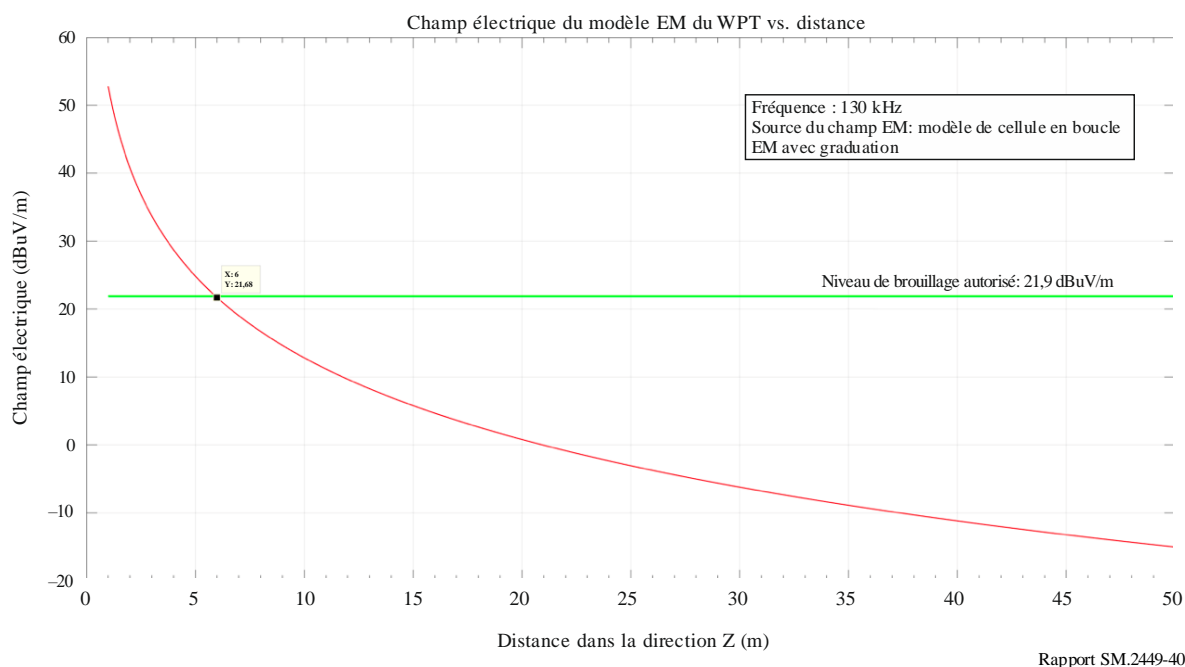


FIGURE 40  
 Champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus du sol (m) (détail)



### Conclusions du scénario à un seul dispositif

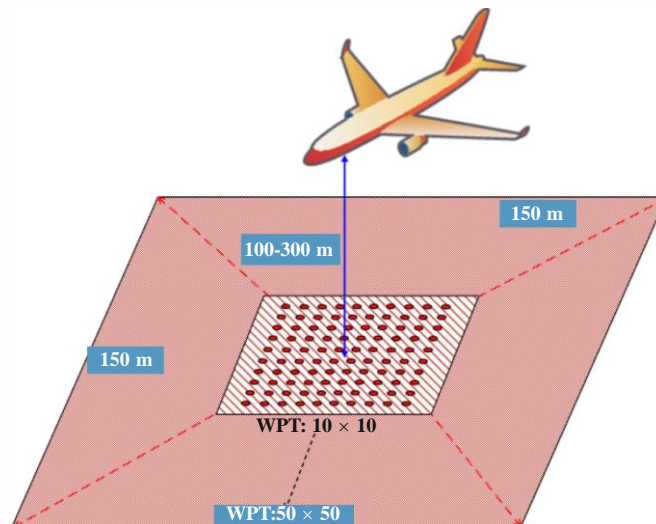
Les résultats du scénario à un seul dispositif montrent que les incidences sur le récepteur ADF sont inférieures au seuil de brouillage à une distance inférieure à 6 m. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans les calculs; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs WPT au récepteur ADF.

### 5.5.2.2 Scénario à plusieurs dispositifs

Dans le scénario à plusieurs dispositifs WPT, ceux-ci sont séparés d'une distance de 3 m dans un carré de 150 m x 150 m. Le montage se présente donc comme un ensemble de 50 x 50 dispositifs. Différents niveaux d'activité ont été simulés, notamment deux altitudes d'aéronef de 100 m et 300 m. À titre de référence, les altitudes minimales de sécurité aux États-Unis d'Amérique sont de 500 pieds ( $\approx 150$  m) en haute mer ou au-dessus de zones peu peuplées, et de 1 000 pieds ( $\approx 300$  m) au-dessus de zones urbaines. L'antenne du récepteur ADF embarqué dans l'aéronef se trouve au-dessus du centre du carré. Les champs rayonnés sont cumulés par agrégation vectorielle.

FIGURE 41

Description d'un scénario à plusieurs dispositifs

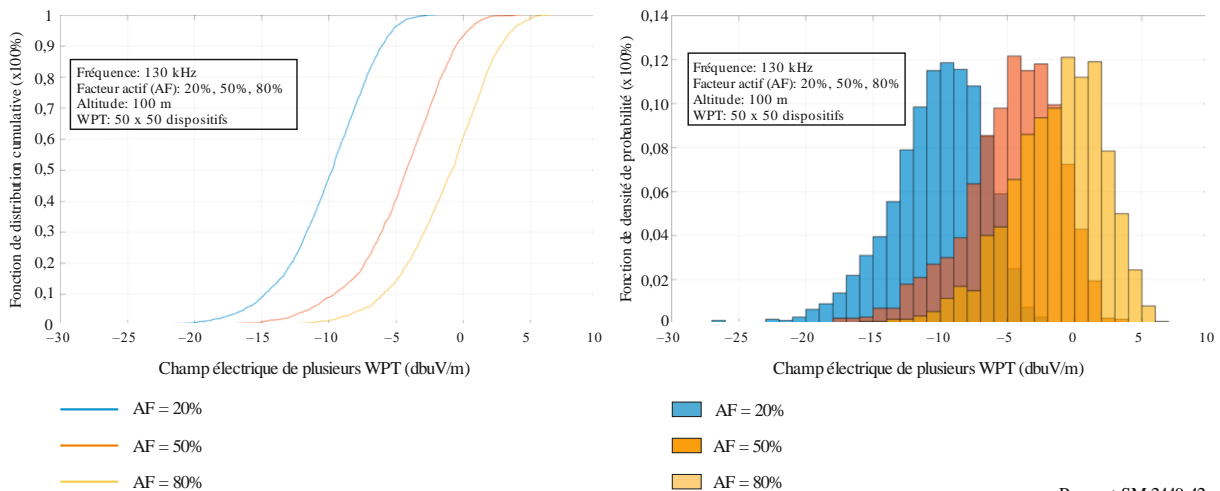


Rapport SM.2449-41

La Fig. 42 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 100 m.

FIGURE 42

Distribution du champ électrique rayonné de plusieurs dispositifs WPT (altitude de l'aéronef: 100 m)



Rapport SM.2449-42

Facteur d'activité	Champ él. max. (dBμV/m)	Moyenne (dBμV/m)	Norme	Brouillage max. autorisé (dBμV/m)	Marge/écart (dB)
20%	-2,1	-10,2	3,4	21,9	24,0
50%	4,4	-4,7	3,6	21,9	17,5
80%	6,5	-1,3	3,5	21,9	15,4

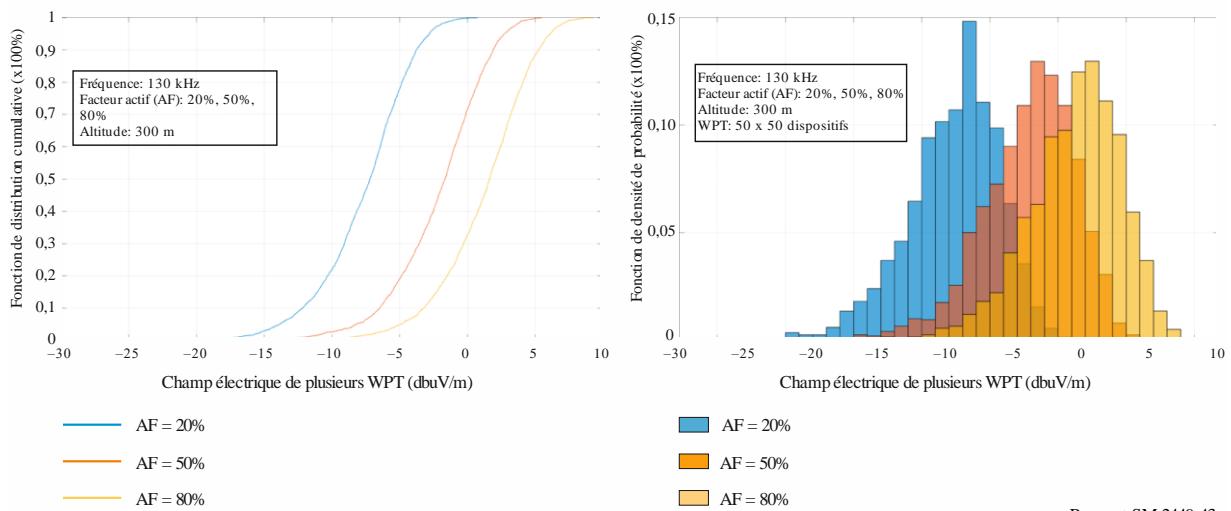
**Conclusions pour une altitude de l'aéronef de 100 m**

La simulation a montré que le champ maximum calculé, même pour un facteur d'activité de 80%, est inférieur de 15,4 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs WPT au récepteur ADF.

La Fig. 43 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 300 m.

FIGURE 43

**Distribution du champ électrique rayonné de plusieurs dispositifs WPT (altitude de l'aéronef: 300 m)**



Rapport SM.2449-43

Facteur d'activité	Champ él. max. (dBμV/m)	Moyenne (dBμV/m)	Norme	Brouillage max. autorisé (dBμV/m)	Marge/écart (dB)
20%	-24,3	-32,7	3,4	21,9	46,2
50%	-19,5	-27,1	3,4	21,9	41,4
80%	-15,7	-23,8	3,5	21,9	37,6

**Conclusions pour une altitude de l'aéronef de 300 m**

La simulation a montré que le champ maximum calculé, même pour un facteur d'activité de 80%, est inférieur de 37,6 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs WPT au récepteur ADF.

### 5.5.3 Résumé des résultats

Les simulations ont montré que le champ électrique des chargeurs WPT destinés à des appareils mobiles et portables n'ont pas d'incidence sur la réception des signaux ADF/NDB. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans les calculs et les simulations, mais ils ne feraient que réduire davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs WPT au récepteur ADF.

## 6 Conclusion

Nous avons modélisé et mesuré des émissions pour analyser les incidences de dispositifs WPT destinés à des dispositifs mobiles et portables sur certains services de radiocommunication. Nous avons analysé dans notre Rapport les incidences des brouillages sur la radiodiffusion en modulation d'amplitude (MA), sur la radioamateur et sur la radionavigation aéronautique (ADF/NDB). Les dispositifs WPT destinés à recharger des dispositifs mobiles et portables fonctionnent dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz et doivent respecter une certaine distance de séparation par rapport aux récepteurs du service de radiocommunication pour éviter les brouillages. S'agissant de la radiodiffusion MA, l'une de nos études a montré que la distance de séparation requise était de 2,3 m, tandis que selon autre étude cette distance pouvait être plus grande. S'agissant du service de radioamateur, la distance de séparation se situait entre 15,3 m et 40,8 m selon le scénario. Les études concernant la radionavigation aéronautique (ADF/NDB) ont montré que les distances de séparation requises étaient très inférieures aux altitudes minimales de sécurité imposées aux aéronefs (voir le § 5.5.2.2).

## Annexe 1

### Références

Document et numéro de l'UIT-R	Titre du document de l'UIT-R
Accord GE75 sur le Plan régional	
Recommandation UIT-R P.368-7	Courbes de propagation de l'onde de sol entre 10 kHz et 30 MHz
Recommandation UIT-R P.372	Bruit radioélectrique
Recommandation UIT-R BS.468	Mesure du niveau de tension des bruits audiofréquence en radiodiffusion sonore
Recommandation UIT-R BS.498	Transmodulation ionosphérique en radiodiffusion en ondes kilométriques (B.km) et hectométriques (B.hm)
Recommandation UIT-R P.532	Effets ionosphériques et problèmes d'exploitation liés à la modification artificielle de l'ionosphère et du canal radioélectrique
Recommandation UIT-R BS.559	Mesure objective des rapports de protection RF en radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)
Recommandation UIT-R BS.560	Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques
Recommandation UIT-R BS.561	Définitions du rayonnement en radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)
Recommandation UIT-R M.589	Caractéristiques techniques des méthodes de transmission de données et de protection contre les brouillages pour les services de radionavigation fonctionnant dans les bandes de fréquences comprises entre 70 et 130 kHz

Document et numéro de l'UIT-R	Titre du document de l'UIT-R
Recommandation UIT-R BS.638	Termes et définitions utilisés dans la planification des fréquences pour la radiodiffusion sonore et télévisuelle
Recommandation UIT-R BS.639	Largeur de bande nécessaire à l'émission pour la radiodiffusion à ondes kilométriques, hectométriques et décamétrique
Recommandation UIT-R BS.703	Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification
Recommandation UIT-R M.823	Caractéristiques techniques de la transmission de données en mode différentiel pour les systèmes mondiaux de navigation par satellite à partir de radiophares maritimes dans les bandes de fréquences 283,5-315 kHz (Région 1) et 285-325 kHz (Régions 2 et 3)
Recommandation UIT-R SM.1056	Limitation des rayonnements provenant des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM)
Recommandation UIT-R P.1147	Prévision du champ de l'onde ionosphérique pour les fréquences comprises entre 150 et 1 700 kHz environ
Recommandation UIT-R P.1321	Facteurs de propagation qui influent sur les systèmes utilisant des techniques de modulation numérique dans les bandes d'ondes kilométriques et hectométriques
Recommandation UIT-R BS.1348	Cahier des charges du service de radiodiffusion sonore numérique aux fréquences inférieures à 30 MHz
Recommandation UIT-R BS.1386	Caractéristiques et diagrammes de rayonnement des antennes d'émission en ondes kilométriques ou hectométriques
Recommandation UIT-R BS.1387	Méthode de mesure objective de la qualité du son perçu
Recommandation UIT-R BS.1514	Système pour la radiodiffusion sonore numérique dans les bandes attribuées à la radiodiffusion au-dessous de 30 MHz
Recommandation UIT-R M.1732-2	Caractéristiques de systèmes exploités dans les services d'amateur et d'amateur par satellite à utiliser pour les études de partage
Recommandation UIT-R BS.1895	Critères de protection applicables aux systèmes de radiodiffusion de Terre
Recommandation UIT-R SM.1896	Gammes de fréquences pour une harmonisation mondiale ou régionale des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Recommandation UIT-R SM.2028	Calcul des distances de protection entre systèmes inductifs et services de radiocommunication utilisant les fréquences au-dessous de 30 MHz
Recommandation UIT-R SM.2103	Harmonisation à l'échelle mondiale des catégories de dispositifs de radiocommunication à courte portée
Recommandation UIT-R SM.2110	Orientations relatives aux gammes de fréquences pour l'exploitation des systèmes de transmission d'énergie sans fil n'utilisant pas de faisceau pour les véhicules électriques
Rapport UIT-R BS.401	Antennes d'émission en radiodiffusion (B.km et B.hm)
Rapport UIT-R BS.458	Caractéristiques des systèmes de radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)
Rapport UIT-R SM.2057	Études relatives à l'impact des dispositifs UWB sur les autres services de radiocommunications.
Rapport UIT-R SM.2153	Paramètres techniques et de fonctionnement des dispositifs de radiocommunication à courte portée et fréquences utilisées
Rapport UIT-R SM.2154	Techniques de mesure de l'occupation du spectre par des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Rapport UIT-R SM.2179	Mesure des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Rapport UIT-R SM.2180	Incidence des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) sur les services de radiocommunication
Rapport UIT-R SM.2210	Effets des émissions provenant des dispositifs à courte portée sur les services de radiocommunication

Document et numéro de l'UIT-R	Titre du document de l'UIT-R
Rapport UIT-R SM.2303	Transmission d'énergie sans fil au moyen de techniques autres que la transmission par faisceau radiofréquence

## Annexe 2

### Abréviations

Abréviation	Terme
ADC	convertisseur analogique-numérique ( <i>analogue digital converter</i> )
ADF	radiogoniomètre automatique ( <i>automatic direction finder</i> )
BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
BW	largeur de bande ( <i>bandwidth</i> )
EV	véhicule électrique ( <i>electric vehicle</i> )
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
NDB	radiophare non directionnel ( <i>non-directional beacon</i> )
ISM	(appareils) industriels, scientifiques et médicaux ( <i>industrial, scientific, and medical applications</i> )
LF	basse fréquence ( <i>low frequency</i> )
MA	modulation d'amplitude
WPT	transmission d'énergie sans fil ( <i>wireless power transmission</i> )

---