

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Rapport UIT-R SM.2451-0
(06/2019)

Évaluation des incidences de la transmission d'énergie sans fil pour le chargement des véhicules électriques (WPT-EV) 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
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, 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.2451-0

**Évaluation des incidences de la transmission d'énergie sans fil
pour le chargement des véhicules électriques (WPT-EV)
sur les services de radiocommunication**

(2019)

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	6
2 Caractéristiques techniques et besoins de protection des services de radiocommunication	6
3 Caractéristiques des applications du système WPT-EV	8
3.1 Caractéristiques radioélectriques du système WPT-EV	8
3.2 Scénario d'utilisation d'une technologie WPT-EV, dans des plages de fréquences de 19-21 kHz/55-65 kHz	10
3.3 Scénario d'utilisation d'un système WPT-EV à 79-90 kHz	12
3.4 Facteur d'activité estimé par chargeur	14
4 Résumé des études sur l'impact des systèmes WPT-EV sur les services de radiocommunication	15
4.1 Études d'impact concernant les systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 19-21 kHz	15
4.2 Études d'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 55-65 kHz	17
4.3 Études d'impact pour les systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 79-90 kHz	19
4.4 Limites des émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour assurer la protection de la radiodiffusion MA	21
4.5 Impact des émissions rayonnées harmoniques et parasites sur le service d'amateur et prescriptions pertinentes en matière de protection	25
5 Mesures d'harmonisation et d'atténuation visant à minimiser l'impact des systèmes WPT-EV sur les services de radiocommunication.....	26
5.1 Harmonisation à l'échelle mondiale	26
5.2 Mesures d'atténuation	26
6 Conclusions	28

Annexe 1 – Caractéristiques techniques et prescriptions en matière de protection des services de radiocommunication devant être utilisés dans les études d'impact des systèmes WPT-EV.....	30
A1.1 Services maritimes.....	30
A1.2 Service d'amateur.....	32
A1.3 Service de fréquences étalon et de signaux horaires	32
A1.4 Service de radiodiffusion sonore	37
A1.5 Service météorologique	39
Annexe 2 – Exemples de niveau d'émissions pour les systèmes WPT-EV	39
A2.1 WPT-EV exploité dans les bandes de fréquences 19-21 kHz/55-65 kHz	39
A2.2 Système WPT-EV fonctionnant dans une gamme de fréquences de 79-90 kHz	40
Annexe 3 – Limites d'émission proposées par les organisations de normalisation pour les systèmes WPT-EV	43
A3.1 Projet de limites proposées par le CISPR	43
Annexe 4 – Études d'impact sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires	45
A4.1 Étude d'impact sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires de 60 kHz.....	45
A4.2 Étude d'impact sur le service de fréquences étalon et de signaux horaires de 77,5 kHz.....	58
Annexe 5 – Étude d'impact des systèmes WPT-EV réalisée par la Chine.....	66
A5.1 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur la radiodiffusion à ondes hectométriques.....	66
A5.2 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur le système Loran de la Chine	88
A5.3 Références.....	98
Annexe 6 – Études d'impact en Corée pour les systèmes WPT-EV avec une fréquence de fonctionnement comprise entre 19-21 kHz/55-65 kHz	99
A6.1 Études d'impact des systèmes WPT-EV dont les fréquences de fonctionnement sont comprises entre 19-21 kHz/55-65 kHz sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires.....	99
A6.2 Études d'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 19-21 kHz/55-65 kHz sur les services de radiodiffusion sonore modulés en amplitude	100
Annexe 7 – Études d'impact au Japon concernant les système WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz.....	103
A7.1 Introduction.....	103

	<i>Page</i>
A7.2 Limites d'émission sur les systèmes WPT pour véhicules électriques.	103
A7.3 Normalisation des systèmes WPT-EV.....	104
A7.4 Études d'impact des systèmes WPT fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz	105
Annexe 8 – Analyse de l'impact de systèmes WPT sur les services de radiodiffusion	117
A8.1 Généralités	117
A8.2 Facteurs affectant l'impact du brouillage.....	118
A8.3 Commentaire et applications aux systèmes WPT et récepteurs de radiodiffusion.....	118
A8.4 Limites de champs admissibles	119
Pièce jointe 1 à l'Annexe 8 – Renseignements concernant les émetteurs de radiodiffusion à ondes kilométriques et ondes hectométriques sur lesquels les systèmes WPT-EV ont une incidence	127
A8-A1.1 Introduction.....	127
A8-A1.2 Sources d'informations disponibles	127
Supplément 1 à la Pièce jointe 1 à l'Annexe 8	128
Supplément 2 à la Pièce jointe 1 à l'Annexe 8 – Renseignements extraits des Paramètres techniques pour les émetteurs de radiodiffusion (Ofcom UK)	131
Pièce jointe 2 à l'Annexe 8 – Rapport de la radiodiffusion à ondes hectométriques dans les parties de la Région 2.....	132
A8-A2.1 Vue d'ensemble.....	132
A8-A2.2 Introduction.....	132
A8-A2.3 Étude de marché	133
Pièce jointe 3 à l'Annexe 8 – Facteurs ayant une influence sur l'impact sous forme de brouillage préjudiciable.....	136
Pièce jointe 4 à l'Annexe 8 – Dérivation du niveau maximal acceptable de brouillage du récepteur à modulation d'amplitude	138
Pièce jointe 5 à l'Annexe 8 – Distance de séparation prévue entre la borne de recharge d'un système WPT-EV et un récepteur à modulation d'amplitude domestique: étude photographique.....	142
Pièce jointe 6 à l'Annexe 8 – Fonctionnement d'un récepteur de radiodiffusion sonore à modulation de fréquence en présence d'un brouillage provoqué par le système WPT-EV	145
Pièce jointe 7 à l'Annexe 8 – Études complémentaires réalisées à l'aide d'un récepteur disponible sur le marché	153

Annexe 9 – Analyse de l'UER visant à rapprocher les résultats de l'étude d'impact décrite à l'Annexe 5 avec les limites prescrites pour les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour la protection des radiodiffusions à modulation d'amplitude du paragraphe 4.4	163
A9.1 Résumé	163
A9.2 Définitions	164
A9.3 Généralités	166
A9.4 Références.....	171
Annexe 10 – Étude de l'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant sur une gamme de fréquences comprises entre 79 et 90 kHz sur les systèmes de radiocommunication des services d'amateur	171
A10.1 Introduction.....	171
A10.2 Généralités	171
A10.3 Emplacement des installations WPT-EV.....	174
A10.4 Niveaux d'émission dans le domaine des rayonnements non essentiels.....	174
A10.5 Un niveau adéquat de protection	177
A10.6 Mesure des systèmes existants.....	177
A10.7 Résumé	178
Annexe 11 – Analyse de l'impact des systèmes WPT-EV sur les systèmes de correction auditive à boucle d'induction	179
A11.1 Paramètres de fonctionnement.....	179
A11.2 Limites de brouillage	179
A11.3 Émetteurs à bobine T	179
A11.4 Récepteur à bobine T	180

Acronymes et abréviations

ATS	systèmes d'arrêt automatique des trains (<i>automatic train stop systems</i>)
BBC	British Broadcasting Corporation
CEI	Commission électrotechnique internationale
CEPT	Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications
CISPR	Comité international spécial des perturbations radioélectriques
CMR	Conférence mondiale des radiocommunications
ERC	Comité européen des radiocommunications (<i>european radiocommunications Committee</i>)
ITRS	systèmes radioélectriques par induction pour les trains (<i>inductive train radio systems</i>)
LF	basse fréquence (<i>low frequency</i>)
LORAN	navigation à longue portée (<i>long-range navigation</i>)
MA	modulation d'amplitude
MF	fréquence moyenne (<i>medium frequency</i>)
MF-WPT	transmission d'énergie sans fil par champ magnétique (<i>Magnetic field wireless power transfer</i>)
PHEV	véhicule électrique hybride rechargeable (<i>plug-in hybrid electric vehicle</i>)
RR	Règlement des radiocommunications
SAE	Society of Automotive Engineers
SDO	Organisation élaboratrice de normes (<i>standards developing Organization</i>)
SFTS	fréquences étalon et signaux horaires (<i>standard frequency and time signal</i>)
SRD	dispositif à courte portée (<i>short range device</i>)
TC	Comité technique (<i>technical committee</i>)
UER	Union européenne de radiotélévision
UIT-R	Secteur des radiocommunications de l'UIT
VE	véhicule électrique
WPT	transmission d'énergie sans fil (<i>wireless power transmission</i>)
WPT-EV	transmission d'énergie sans fil pour le chargement des véhicules électriques (<i>wireless power transmission for electric vehicles</i>)

Recommandations et Rapports UIT connexes

Recommandation UIT-R SM.1056

Recommandation UIT-R SM.1896

Recommandation UIT-R SM.2129-0

Rapport UIT-R SM.2153

Rapport UIT-R SM.2303

1 Introduction

Il existe aujourd'hui dans le monde diverses applications de la transmission d'énergie sans fil (WPT) tant en phase expérimentale qu'en passe d'être exploitées. Les fréquences utilisées pour la transmission d'énergie sans fil pour recharger les véhicules électriques (WPT-EV) sont également utilisées par des systèmes ou des services de radiocommunication. A l'heure actuelle, on connaît peu les incidences de la technologie WPT pour véhicules électriques sur les services de radiocommunication existants. Aussi, afin d'étudier l'impact que peuvent avoir les systèmes WPT-EV sur les services de radiocommunication exploités aux mêmes fréquences ou à des fréquences adjacentes, la CMR-15 a décidé que l'UIT-R devrait étudier ces incidences par le biais de sa Résolution **958 (CMR-15)** (*Annexe 1 a) et b)*) et qu'il s'agissait de l'une des études qui devaient être menées en priorité pour préparer la Conférence mondiale des radiocommunications de 2019 (CMR-19). C'est à cette fin qu'il a été décidé d'examiner ces impacts au titre de la question 9.1.6 du point 9.1 de l'ordre du jour de la CMR-19.

La Résolution **958 (CMR-15)** préconise également d'examiner les bandes de fréquences harmonisées qui pourraient permettre de minimiser les incidences que la transmission d'énergie sans fil pour véhicules électriques (système WPT-EV) pourrait avoir sur les services de radiocommunication. Lorsqu'on examinera les bandes de fréquences qui pourraient être envisagées, il sera nécessaire d'étudier l'impact sur les services auxquels ces bandes et des bandes adjacentes ont déjà été attribuées, et ce, en tenant compte de l'utilisation actuelle ou prévue de ces bandes par les services existants et de la nécessité de les protéger contre les émissions des systèmes WPT-EV.

Le présent rapport s'intéresse à l'évaluation de l'impact de la WPT-EV sur les services de radiocommunication exploités aux mêmes fréquences ou à des fréquences adjacentes en vue d'assurer la protection requise de ces services de radiocommunication. Il vise également à fournir des lignes directrices aux administrations souhaitant mettre en œuvre des technologies WPT-EV dans les gammes proposées en vue de minimiser les incidences potentielles de ces technologies sur les services de radiocommunication.

2 Caractéristiques techniques et besoins de protection des services de radiocommunication

Il existe potentiellement un grand nombre de services de radiocommunication sur lesquels l'exploitation de la technologie WPT-EV pourrait avoir des incidences, lesquelles peuvent se situer à la même fréquence, à des fréquences adjacentes, ou à des fréquences plus éloignées. On trouvera dans le Tableau 1 ci-après les informations relatives aux caractéristiques techniques et aux besoins de protection des services de radiocommunication utilisés dans les études d'impact.

TABLEAU 1

**Caractéristiques techniques des systèmes/services de radiocommunication
et besoins de protection des utilisations dans les études d'impact**

Gamme de fréquences	Service/Système	Application	Caractéristiques et besoins de protection (référence)
50 Hz – 10 kHz	Systèmes à bobine T	Appareils auditifs	Annexe 11
5-200 kHz	Auxiliaires de la météorologie	Système de détection de la foudre	
10-250 kHz 425-524 kHz	Systèmes automatiques d'arrêt des trains (ATS)	Applications pour la sécurité des trains	Annexe 7
14-19,5 kHz	FIXE MOBILE MARITIME		
19,95-21 kHz (20 kHz)	Service des fréquences étalon et des signaux horaires		Annexe 1
20,5-70 kHz	FIXE MOBILE MARITIME		
39-41 kHz (40 kHz)	Service des fréquences étalon et des signaux horaires	Signal horaire de 40 kHz utilisé au Japon	Annexe 1
59-61 kHz (60 kHz)	Service des fréquences étalon et des signaux horaires	Signal horaire de 60 kHz utilisé au Japon, au Royaume-Uni et aux États-Unis d'Amérique	Annexe 1
68,25-68,75 kHz (77,5 kHz)	Service des fréquences étalon et des signaux horaires	Signal horaire de 77,5 kHz utilisé en Allemagne	Annexe 1
90-110 kHz	RADIONAVIGATION Radio maritime	Loran-C	
99,75-102,5 kHz (100 kHz)	Service des fréquences étalon et des signaux horaires		Annexe 1
128,6-129,6 kHz	Fixe	Contrôle d'ondulations	
130-535 kHz	Aéronautique	Radiophares omnidirectionnels	
135,7-137,8 kHz	Service d'amateur		Annexe 10
157,5-166,5 kHz	Service des fréquences étalon et des signaux horaires		Annexe 1
148,5-283,5 kHz	Radiodiffusion	Radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude (ondes kilométriques)	Annexe 1 et Annexe 8
255-405 kHz	RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE		
424, 490, 518 kHz et 495-505 kHz	Maritime		
472-479 kHz	Service d'amateur		Annexe 10

TABLEAU 1 (*fin*)

Gamme de fréquences	Service/Système	Application	Caractéristiques et besoins de protection (référence)
525-1 705 kHz	Radiodiffusion	Radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à ondes hectométriques	Annexe 1 et Annexe 8
1 800-2 000 kHz	Service d'amateur		Annexe 10
< 30 MHz	Des préoccupations ont été signalées à l'égard des niveaux de rayonnements non désirés pour certains services, En particulier, aéronautique, maritime, de radiodiffusion et d'amateur		Annexe 1

3 Caractéristiques des applications du système WPT-EV

3.1 Caractéristiques radioélectriques du système WPT-EV

Dans le Tableau 2 figure un résumé des caractéristiques radioélectriques d'un système WPT-EV traditionnel, qui se fonde sur les informations disponibles à l'UIT-R et on trouvera dans le Tableau 3 un résumé des paramètres généraux d'un système WPT-EV classique, qui ont été utilisés dans les études d'impact. On trouvera dans l'Annexe 2 les informations détaillées concernant les niveaux d'émissions, y compris les rayonnements non désirés. Les informations détaillées concernant les limites préliminaires proposées par les organisations de normalisation figurent dans l'Annexe 3.

Les limites examinées par le Sous-Comité B du CISPR ont été utilisées dans certaines études sur les incidences et figurent dans les Tableaux A3-1 et A3-2 dans l'Annexe 3. Le Sous-Comité B du CISPR examine actuellement l'introduction de limites d'émissions et leurs méthodes de mesures pour le chargeur WPT pour véhicules électriques (WPT-EV), qui figureront dans sa prochaine édition (Edition 7) de la norme CISPR 11.

En outre, dans le Tableau A7-2.1 de l'Annexe 7 figurent des limites d'émission pour la technologie WPT-EV au Japon, lesquelles ont été obtenues dans les études d'impact menées au Japon.

TABLEAU 2

**Caractéristiques radioélectriques de l'exemple de niveaux d'émissions
de la technologie WPT-EV dans les études d'impact**

Bande de fréquences (kHz)	Fréquence centrale (kHz)	Gabarit d'émissions	Stabilité de la fréquence (Hz)	Niveau de puissance (kW)	Niveau d'émission de la fréquence fondamentale à 10 m (dBμA/m)	Niveau d'émission de la troisième harmonique à 10 m (dBμA/m)	Niveaux d'émission non désirés	Utilisation
19-21/ 55-57 ¹ 63-65	19-21 (Note 1)	Annexe3	Note 1	22-120	Annexe 2	Annexe 2	Annexe 2	Poids lourds
79-90	79-90 (Note 1)	Annexe 3	Note 1	1-22	Annexe 2	Annexe 2	Annexe 2	Véhicules utilitaires légers

NOTE 1 – Non normalisée encore. En fonction de la conception des produits. Se référer aux organisations de normalisation appropriées pour les prescriptions de fréquences.

TABLEAU 3

Paramètres généraux d'un système WPT-EV traditionnel

Paramètres/entrée	WPT-EV, de 19-21 kHz/55-65 kHz	WPT-EV, de 79-90 kHz
Domaine d'application	Poids lourds électriques (bus, camions, etc.)	Véhicules utilitaires légers
Niveaux de puissance	22-120 kW	1-22 kW
Niveau de puissance typique	100 kW pour les systèmes de bus	11 kW pour les véhicules à passagers
Utilisation de la fréquence dans la plage de fréquence de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> – Recherche d'accord variable et sélection de la fréquence de fonctionnement pour assurer la meilleure efficacité – Fréquences de fonctionnement discrètes dédiées – Fréquence de fonctionnement fixe 	
Sources d'émissions rayonnées	<ul style="list-style-type: none"> – Électronique de puissance transmettant une énergie – Câbles couplant la source d'énergie au chargeur – Éléments magnétiques (antennes de ferrite) du chargeur 	
Mécanisme de couplage	Par induction et par résonance	
Situation de couplage (entrefer entre le véhicule et le chargeur)	Champ propre 0,2.. 0,35	Champ propre 0,08.. 0,3 mètre

¹ Cette plage de fréquences est la troisième harmonique de la fréquence fondamentale dans la plage de fréquences de 19-21 kHz. La fréquence fondamentale et la troisième harmonique sont toutes deux utilisées pour obtenir une efficacité de transfert de puissance supérieure pour certains systèmes par induction.

TABLEAU 3 (*fin*)

Paramètres/entrée	WPT-EV, de 19-21 kHz/55-65 kHz	WPT-EV, de 79-90 kHz
Efficacité du système de couplage	80%.. 85%	80%.. 95%
Cas d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> – Au garage du bus – Au terminal du bus 	Parking privé <ul style="list-style-type: none"> – Au domicile – Au bureau Dans des emplacements privés <ul style="list-style-type: none"> – Parcs de stationnement ouverts – Parcs de stationnement ouverts sur la rue – Parcs de stationnement à plusieurs étages – Parcs de stationnement souterrains
Direction de chargement	Unidirectionnelle/bidirectionnelle	
Densité prévue pour les chargeurs WPT-EV	1 unité/100 m ² <ul style="list-style-type: none"> – Au garage du bus – Au terminal du bus 	5 unités/100 m ² Dans un garage de stationnement: même densité à chaque étage

3.2 Scénario d'utilisation d'une technologie WPT-EV, dans des plages de fréquences de 19-21 kHz/55-65 kHz

Le principal scénario d'utilisation envisagé pour la technologie WPT-EV pour poids lourds électriques, exploitée dans des plages de fréquences de 19-21 kHz/55-65 kHz, vise les bus. Les scénarios d'utilisation sont illustrés dans le Tableau 4.

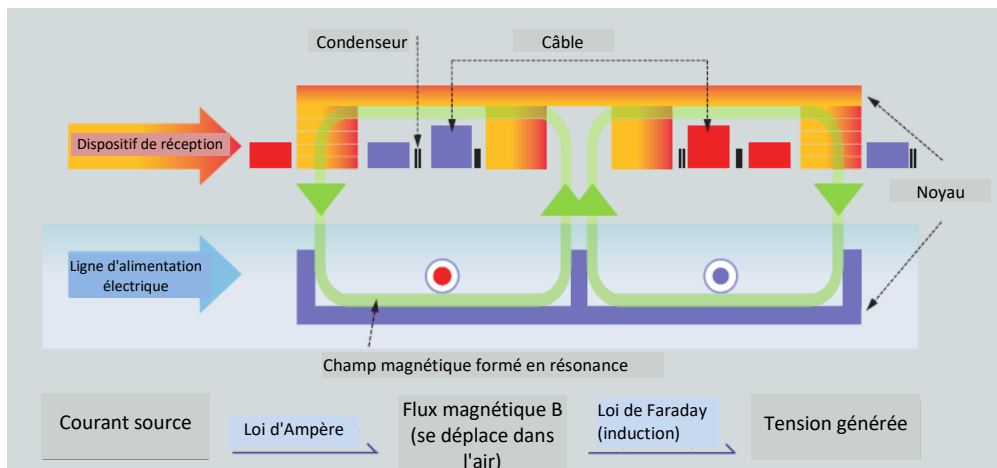
TABLEAU 4

Scénarios d'utilisation d'une technologie WPT-EV, dans des plages de fréquences de 19-21 kHz/55-65 kHz pour ses systèmes de bus

Scénarios	Durée du chargement par véhicule	Nombre de bus sur un parcours de bus	Nombre de véhicules qui peuvent être chargés en même temps	Puissance de chargement	Efficacité
Système WPT-EV pour poids lourds, basé dans le dépôt (par exemple au terminal du bus, dépôt/garage)	15-20 min	6 bus sur le parcours, 45 min entre les terminaux WPT-EV, voyage aller-retour de 90 min	4 (1-2 de manière traditionnelle)	100 kW	85%
Système WPT-EV pour les poids lourds, dans la rue (par exemple, aux arrêts de bus)	Pas envisagé actuellement				
Chargement dynamique (lorsque le véhicule est en mouvement)	Cela n'est pas considéré comme faisable et il n'existe pas de cas d'utilisation.				

La Fig. 1 illustre une configuration de base d'un système typique WPT-EV. Pour recharger les véhicules, le système d'alimentation électrique (dispositif primaire) peut être encastré dans le sol ou placé sur le sol de telle sorte qu'il se produit un transfert magnétique de l'énergie vers les véhicules alimentés par batterie qui sont placés au-dessus du chargeur. Le bus peut être rechargé au garage du bus sans même s'arrêter.

FIGURE 1
Structure d'un système WPT-EV typique



La transmission d'énergie sans fil entre une alimentation électrique CA et un véhicule électrique se fonde sur le principe du transfert d'énergie via un champ magnétique. Un système d'alimentation électrique (par exemple un dispositif primaire CEI TC 69) et un dispositif formant capteur (par exemple un dispositif secondaire CEI TC69) sont utilisés à cette fin. Un tel système WPT-EV peut intégrer une ou plusieurs bobines. Les deux dispositifs sont couplés par induction et par résonance.

FIGURE 2
Cas de recharge typique pour une technologie WPT-EV

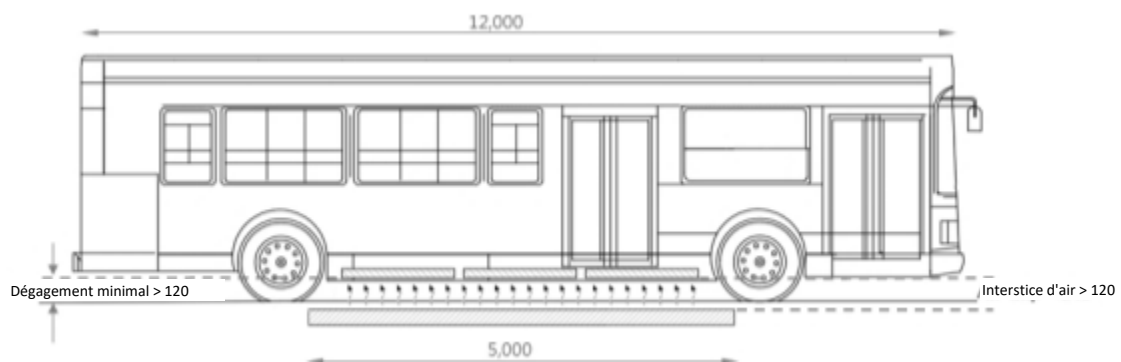


FIGURE 3
Système d'alimentation électrique
(dispositif primaire)

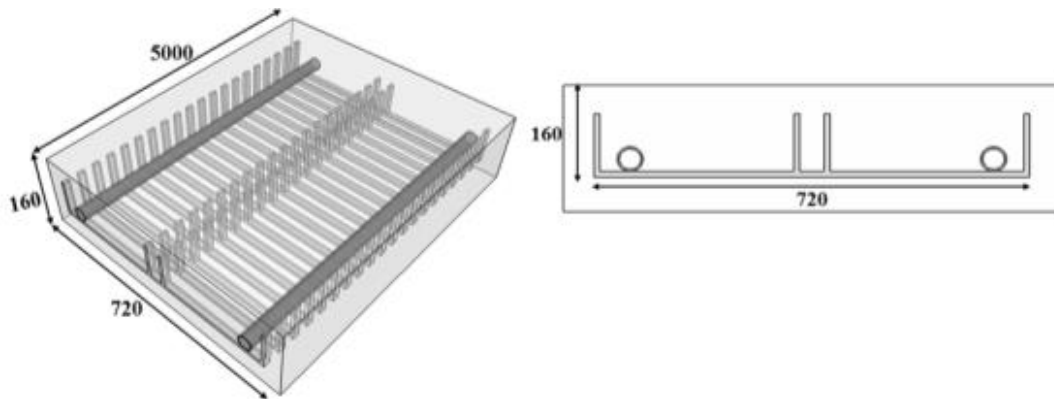
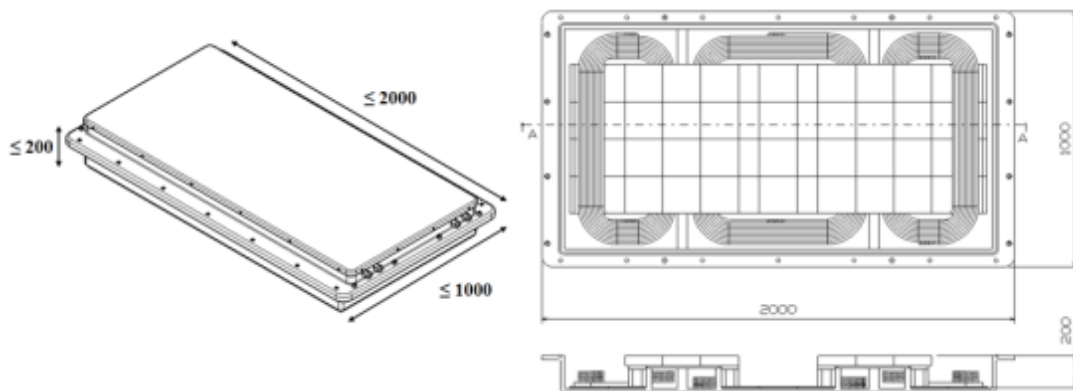


FIGURE 4
Récepteur traditionnel
(dispositif secondaire)



3.3 Scénario d'utilisation d'un système WPT-EV à 79-90 kHz

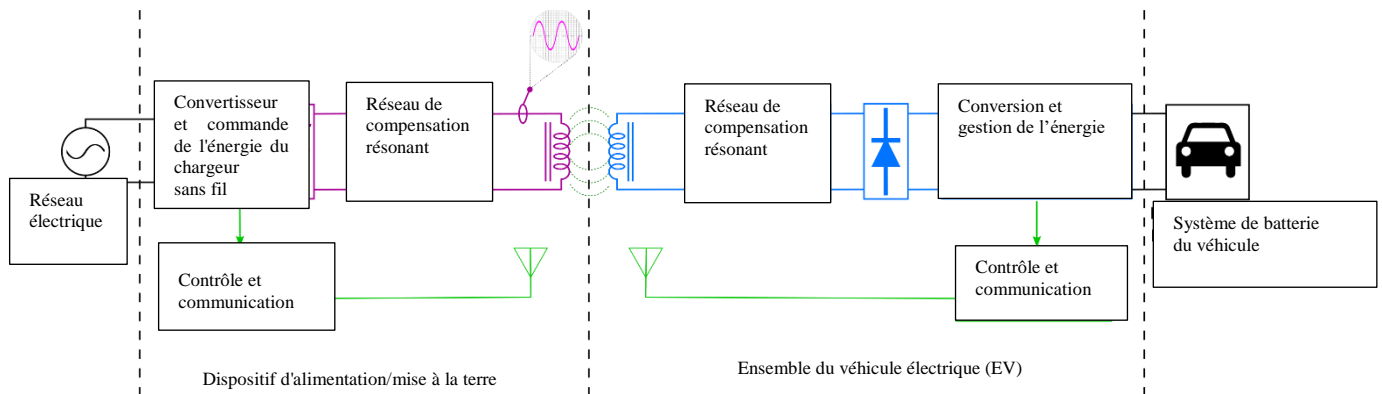
3.3.1 Brève explication des systèmes WPT en cours de normalisation par les organisations de normalisation

Les systèmes WPT-EV font l'objet d'études actives dans le monde entier à l'appui des initiatives mondiales pour l'utilisation des véhicules électriques. Ces systèmes sont considérés comme une partie essentielle de l'infrastructure de chargement des véhicules électriques. Trois organisations de normalisation majeures ont publié des normes pour les systèmes de transfert d'énergie sans fil pour les véhicules électriques (WPT-EV). Il s'agit des normes CEI/TC69/WG7, ISO/TC22/SC37/JPT19363 et SAE J2954. Ces trois organisations œuvrent en coopération pour harmoniser les prescriptions relatives à ces systèmes en vue d'assurer l'interopérabilité de ces systèmes au niveau mondial.

Les systèmes WPT-EV sont conçus pour assurer le transfert d'énergie sans fil, avec efficacité, à partir d'un ensemble formant bobine, situé sur le sol (dispositif primaire), vers un ensemble formant bobine placé sous le véhicule électrique (dispositif secondaire). Le transfert sans fil s'effectue au moyen d'un champ magnétique utilisant des propriétés magnétiques en champ proche et de résonance. La Fig. 5 illustre un schéma fonctionnel d'un système de ce type.

FIGURE 5

Schéma fonctionnel traditionnel d'un système WPT-EV, fourni par les organisations de normalisation



En général, il existe deux principaux sous-ensembles dans le système WPT-EV, à savoir le dispositif d'alimentation (pour la CEI et l'ISO)/mise à la terre (chez SAE) et le dispositif du véhicule électrique (CEI et ISO)/ensemble du véhicule (dans SAE J2954). Le dispositif d'alimentation doit générer un champ magnétique à la fréquence de fonctionnement requise, tandis que le dispositif formant véhicule électrique transforme le champ magnétique en un courant continu que peut utiliser le véhicule électrique.

En se fondant sur des recherches exhaustives et des examens, la CEI, l'ISO et la SAE ont déterminé que la fréquence fondamentale de fonctionnement du système WPT-EV prévu pour des véhicules légers devrait se situer dans une plage de 79-90 kHz. Si on prévoit certes une bande de fréquences, on pense qu'un système donné fonctionnera nominale à une fréquence fixe se situant dans cette plage et n'ajustera pas sa fréquence pendant le transfert d'énergie. Ces systèmes sont prévus pour fonctionner en assurant des rendements de plus de 80% dans toutes les conditions même si les mesures ont montré que les rendements typiques sont généralement de ~90% pour le courant alternatif d'entrée converti en courant continu de sortie. Tous les transferts d'énergie ne s'effectuent qu'à la fréquence fondamentale.

En service, la tension générée par le convertisseur de courant excite le réseau de compensation qui fonctionne par résonance avec la bobine du dispositif primaire. Un courant sinusoïdal obtenu dans la bobine du dispositif primaire induit alors un champ magnétique proportionnel. L'énergie est couplée entre le dispositif primaire et le dispositif secondaire au moyen de ce champ magnétique. Les deux bobines peuvent être décrites à l'aide d'un modèle d'une structure de transformateur à couplage souple. Étant donné que le courant généré dans le dispositif primaire est un courant sinusoïdal, le produit résultant non modulé pendant le transfert d'énergie, est une onde continue.

Depuis le mois de juin 2019, les systèmes WPT-EV pour les classes de puissance jusqu'à 11,1 kW ont commencé à être normalisés par les Organisations de normalisation pertinentes. La plage de fréquences de 79-90 kHz devrait être utilisée pour tous les véhicules utilitaires légers.

SAE J2954 a mené des études sur plusieurs systèmes interopérables et a publié un sous-ensemble de leurs données techniques dans un document présenté à la Conférence mondiale de la SAE en avril 2019 intitulé «Validation du transfert d'énergie sans fil jusqu'à 11 kW fondé sur la SAE J2954 avec essai au banc et essai sur véhicule» (<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-0868/>). D'autres essais sont en cours.

3.3.2 Estimations de la hausse du nombre de systèmes WPT-EV

En Allemagne, le projet STILLE a estimé le nombre de dispositifs chargeurs WPT-EV à 17,1 unités/km² en zones urbaines et à 0,7 unité/km² en zones rurales.

Les chiffres du projet STILLE sont donnés pour la période jusqu'à 2025. Si l'on extrapole ces chiffres jusqu'à 2030, on obtient 64,2 unités/km² pour les zones urbaines et 2,5 unités/km² pour les zones rurales.

Le projet STILLE a défini un temps de chargement réaliste d'une heure par jour et par station de recharge WPT-EV. Il est intéressant de constater que cette valeur reste stable dans le temps. En effet, le nombre de voitures prévues augmente chaque année mais le type de conduite reste le même et le nombre de stations de recharge WPT-EV augmente dans les mêmes proportions.

Compte tenu de l'ensemble des données du projet STILLE, il est possible d'extrapoler les données et de calculer le nombre total de véhicules sur lesquels le système WPT-EV sera monté en option en 2030.

TABLEAU 5

Extrapolation du nombre total de véhicules sur lesquels le système WPT-EV sera monté en option

Année	Nombre total de véhicules électriques en Europe (million)	Taux de déploiement des systèmes WPT-EV de tous les véhicules avec un taux de participation	Nombre de véhicules en Europe équipés d'un système WPT-EV avec un taux de participation (million)
Nombre de véhicules en 2020	4	0,71%	0,03
Augmentation 2021 => 2025	24	1,72%	0,4
Augmentation 2026 => 2030	43	2,83%	1,2
Nombre total de véhicules en 2030	71	2,33%	1,7

Extrait du: «Rapport ECC 289 page 103» qui a été extrapolé du document «*STILLE – Forecast of EU market development of inductive systems until 2025*» («STILLE – Prévision du développement des systèmes à induction sur le marché UE jusqu'en 2025», octobre 2018).

3.4 Facteur d'activité estimé par chargeur

Dans le Tableau 6 ci-dessous, le facteur d'activité décrit la durée de fonctionnement d'un chargeur par jour.

TABLEAU 6

Estimation du facteur d'activité par chargeur

Type de recharge	Emplacement	Niveaux de puissance (kW)	Chargement dans le cas d'un chargement unidirectionnel (heures)	Facteur d'activité Chargement unidirectionnel	Facteur d'activité Chargement bidirectionnel
Recharge de longue durée	Garage de bus	22-120	0,25-6	10-80%	N/A
19-21 kHz/55-65 kHz WPT-EV					
Recharge de longue durée	Domicile	3,7-11	0,25-6	1-25%	10-80%
79-90 kHz WPT-EV					
Recharge de longue durée	Travail	3,7-11	0,25-6	1-25%	5-40%
Recharge de longue durée	Places de stationnement publiques	11-22	2-12	10-50%	20-70%

4 Résumé des études sur l'impact des systèmes WPT-EV sur les services de radiocommunication

On trouvera dans la présente section les résultats des études d'impact menées avec des systèmes WPT-EV exploités dans des plages de fréquences de 19-21 kHz, 55-65 kHz, et 79-90 kHz. Les services et systèmes de radiocommunication pris en considération étaient les suivants: des services de fréquences étalon et de signaux horaires, de contrôle des ondulations, des systèmes d'avertissement automatique de protection de train, de radiocommunication maritime (Loran-C), de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude, de service d'amateur, de service aéronautique, de systèmes de détection de la foudre, de service mobile maritime, de service GPS différentiel, et de radiophares omnidirectionnels dans le système de radionavigation. En outre, les limites requises des émissions rayonnées du système WPT-EV pour la protection de la radiodiffusion à modulation d'amplitude et des incidences des émissions rayonnées non essentielles sur le service d'amateur et les prescriptions requises pertinente en matière de protection ont été examinées et synthétisées.

4.1 Études d'impact concernant les systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 19-21 kHz

Dans les études présentées dans les annexes, les mesures ont été effectuées sur la base d'une distance de 10 m entre l'antenne-cadre et la borne de recharge; les conditions de mesure sont décrites de manière détaillée dans le Rapport UIT R SM.2303. Des mesures ont été effectuées, mais elles n'ont pas été comparées avec les chiffres présentés par le service nécessitant une protection, et en conséquence, il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.1.1 Études d'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires

Dans l'Annexe 6 figure une étude sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires à 20 kHz, dans laquelle les champs ont été mesurés. Les fréquences étalon et les signaux horaires pris en compte dans les études sont des systèmes fonctionnant à 20 kHz. Toutefois aucun fonctionnement du service des fréquences étalon et des signaux horaires à 20 kHz n'a été mis en évidence dans cette étude. Des mesures ont été effectuées, mais elles n'ont pas été comparées avec les chiffres présentés par le service nécessitant une protection, et en conséquence, il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.1.2 Études d'impact sur le contrôle des ondulations

Parmi les études présentées dans l'Annexe 7, une étude sur le contrôle des ondulations à des fréquences de 129,1 kHz et 139 kHz a été effectuée tant par simulation que par mesures des champs. Les valeurs de mesure obtenues n'ont pas été comparées à celles fournies par le service nécessitant une protection, aussi il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.1.3 Études d'impact sur les systèmes d'avertissement automatique pour la protection des trains

Parmi les études présentées dans l'Annexe 7, il ressort d'une étude qu'une distance de séparation de 5 m est nécessaire pour protéger les systèmes d'arrêt automatique des trains (ATS).

4.1.4 Études d'impact sur le service de radionavigation maritime

Parmi les études présentées dans l'Annexe 5, seuls les systèmes Loran-C ont été étudiés. Dans l'étude de ces systèmes, les émissions et les champs de 19 à 21 kHz, y compris les harmoniques émises lors de l'utilisation des systèmes WPT-EV, renvoient aux limites proposées par le CISPR. Le critère de protection du système Loran-C se réfère aux Recommandations UIT-R M.589-3 et UIT-R P.372-13. D'après l'étude d'impact, lors des opérations de recharge, les dispositifs WPT-EV ne risqueraient pas de causer de brouillage au niveau des récepteurs Loran en mer assurant une couverture maritime.

4.1.5 Études d'impact sur la radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude (MA)

La bande de fréquences de 19 à 21 kHz ne chevauche aucune bande de radiodiffusion et de ce fait, seuls les rayonnements harmoniques de ces systèmes pourraient avoir un impact, et ce, parce que les harmoniques sont utilisées dans le cadre du processus de transfert d'énergie. Les harmoniques comprises entre le 8^{ème} rang (de 21 kHz) et le 14^{ème} rang (de 19 kHz) se situent dans la bande de radiodiffusion à ondes kilométriques (148,5-283,5 kHz) tandis que les harmoniques situées entre le 21^{ème} rang (de 21 kHz) et le 89^{ème} rang (de 19 kHz) se situent dans la bande de radiodiffusion à ondes hectométriques (525-1 705 kHz). On trouvera dans le § 4.4 et dans l'Annexe 8 des études détaillées qui décrivent des analyses fondées sur les critères de protection applicables à la réception de la radiodiffusion MA et les distances de séparation qui peuvent être utilisées entre les bornes de recharge WPT-EV et les récepteurs radio. Dans le cas de bornes de recharge WPT-EV utilisées pour certains poids lourds électriques (par exemple autobus, trams, camions), ces bornes pourraient être situées à une distance de séparation minimale de 10 m d'un récepteur de radiodiffusion MA. Il ressort également des études qu'il faudrait prévoir des mesures d'atténuation pour protéger la radiodiffusion MA dans les cas où il faudrait réduire les rayonnements non désirés et où les systèmes WPT-EV devraient être exploités, avec une stabilité et une pureté accrues, sur certaines fréquences, de telle sorte que les harmoniques correspondantes se situent sur les fréquences qui réduisent les incidences sur la réception de la radiodiffusion MA, compte tenu des grilles de canaux MA. On se référera au § 4.4 pour plus d'informations sur les besoins de la radiodiffusion MA en matière de protection.

4.1.6 Études d'impact sur le service de radioamateur

Parmi les études présentées dans l'Annexe 6, des mesures de champs ont été effectuées pour les bandes de fréquences des services d'amateurs de 135,7-137,8 kHz et 472-479 kHz. Ces fréquences de services d'amateur risquent peu d'être affectées par les rayonnements à la fréquence de fonctionnement du système WPT-EV.

On dispose de peu d'informations sur les rayonnements harmoniques provenant de systèmes WPT-EV exploités à cette fréquence. La question du brouillage préjudiciable dû aux rayonnements harmoniques est traitée dans le § 4.5.

4.1.7 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur le service aéronautique

S'agissant des bandes attribuées au service aéronautique, parmi les études présentées dans l'Annexe 6, les mesures du champ ont été effectuées pour des fréquences de 190-535 kHz (Recommandation UIT-R SM.1535) et 2 800-22 000 kHz (Recommandation UIT-R M.1458). Les valeurs de mesure obtenues n'ont pas été comparées à celles fournies par le service nécessitant une protection, aussi il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.1.8 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur les systèmes de détection de la foudre

Parmi les études présentées dans l'Annexe 6, des mesures du champ ont été effectuées pour les systèmes de détection de la foudre qui fonctionnent à des fréquences de 5-200 kHz. Les valeurs de mesure obtenues n'ont pas été comparées à celles fournies par le service nécessitant une protection, aussi il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.1.9 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur le service mobile maritime

La question des incidences du système WPT-EV sur le service mobile maritime doit être étudiée.

4.2 Études d'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 55-65 kHz

4.2.1 Études d'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires

Il ressort de l'étude présentée dans l'Annexe 4 que les systèmes WPT-EV exploités en quelque endroit que ce soit, dans la gamme de fréquences de 55-65 kHz aux limites proposées par le CISPR (voir Annexe 3) risquent de provoquer un brouillage préjudiciable pour le service des fréquences étalon et des signaux horaires fonctionnant à 60kHz. Tous les scénarios étudiés mettent en évidence une large marge négative entre -120 dB et -47 dB. Lors de l'étude des mesures d'un système WPT-EV à 34,18 dB μ A/m à 10 m (voir Annexe 2), l'analyse de référence montre que dans le scénario d'utilisation du système WPT-EV dans la rue avec des distances de séparation de 10 à 20 mètres on observera un brouillage préjudiciable dans tous les cas étudiés. En ce qui concerne le scénario d'utilisation du système WPT-EV dans un dépôt, la coexistence semble possible avec des séparations de fréquences de plus de 4 kHz (par exemple, en dehors de 56-64 kHz) à condition que la distance de séparation soit supérieure à 50 m. Il faut noter que les mesures se fondent sur un système WPT-EV particulier et qu'il ne s'agit peut-être pas là du cas le plus représentatif de tous les types d'équipements.

Des stations de fréquences étalon et des signaux horaires fonctionnant à 60 kHz sont exploitées par des millions d'utilisateurs au Japon, aux Etats-Unis d'Amérique et au Royaume-Uni.

Il ressort de l'étude présentée dans l'Annexe 6 que le brouillage du Service des fréquences étalon et des signaux horaires à 60 kHz pourrait être atténué en décalant la fréquence fondamentale à 21 kHz, ce qui à son tour décalerait la troisième harmonique à 63 kHz. Il a également été démontré qu'il suffisait que le système WPT-EV ne fonctionne pas à $\pm 1,5$ kHz (58,5 kHz à 61,5 kHz) de la fréquence de 60 kHz du service des fréquences étalon et des signaux horaires. Toutefois cette observation ne s'est pas fondée sur des calculs pour déterminer la compatibilité entre les deux systèmes (analyse de coexistence).

4.2.2 Études d'impact sur le contrôle de l'ondulation

Pour mener l'étude relative au contrôle de l'ondulation à 129,1 kHz et 139 kHz, on a procédé à la fois à des simulations et à des mesures du champ. Les valeurs de mesure obtenues n'ont pas été comparées à celles fournies par le service nécessitant une protection, aussi il est impossible de tirer une conclusion quelconque.

4.2.3 Études d'impact sur les systèmes d'avertissement automatique pour la protection des trains

Il ressort de cette étude présentée dans l'Annexe 6, qu'il faut une distance de séparation de 5 m pour protéger les systèmes d'arrêt automatique des trains (ATS).

4.2.4 Études d'impact sur les services de radiocommunication maritime, y compris les systèmes de navigation

Seuls les systèmes Loran-C ont été traités dans l'étude présentée dans l'Annexe 5 et dans l'étude de ces systèmes, les émissions et le champ dans la gamme de fréquences 55-65 kHz, ainsi que les harmoniques des systèmes WPT-EV, se réfèrent aux limites proposées par le CISPR. Le critère de protection du système Loran-C se réfère aux Recommandations UIT-R M.589-3 et UIT-R P.372-13. D'après l'étude d'impact, les dispositifs WPT-EV ne risqueraient pas de causer de brouillage au niveau des récepteurs Loran en mer assurant une couverture maritime.

4.2.5 Études d'impact sur la radiodiffusion sonore MA

La bande de fréquences de 55 à 65 kHz ne chevauche aucune bande de radiodiffusion et de ce fait, seuls les rayonnements harmoniques de ces systèmes pourraient avoir une incidence et ce, peut-être parce que les harmoniques sont également utilisées dans le cadre du processus de transfert d'énergie. Les harmoniques comprises entre le 8^{ème} rang (de 21 kHz) et le 14^{ème} rang (de 19 kHz) se situent dans la bande de radiodiffusion à ondes kilométriques (148,5-283,5 kHz) tandis que les harmoniques situées entre le 21^{ème} rang (de 21 kHz) et le 89^{ème} rang (de 19 kHz) se situent dans la bande de radiodiffusion à ondes hectométriques (525-1 705 kHz). On trouvera dans le § 4.4 et l'Annexe 8 des études détaillées qui décrivent des analyses fondées sur les critères de protection applicables à la réception de la radiodiffusion MA et les distances de séparation qui peuvent être utilisées entre les bornes de recharge WPT-EV et les récepteurs radio. Dans le cas de bornes de recharges WPT-EV utilisées pour certains poids lourds électriques (par exemple autobus, trams, camions), ces bornes pourraient être situées à une distance de séparation minimale de 10 m d'un récepteur de radiodiffusion MA. Il ressort également des études qu'il faudrait prévoir des mesures d'atténuation pour protéger la radiodiffusion MA dans les cas où il faudrait réduire les rayonnements non désirés et où les systèmes WPT-EV devraient être exploités, avec une stabilité et une pureté accrues, sur certaines fréquences, de telle sorte que les harmoniques correspondantes se situent sur les fréquences qui réduisent les incidences sur la réception de radiodiffusion MA, compte tenu des grilles de canaux MA. On se référera au § 4.4 pour plus d'informations sur les besoins de la radiodiffusion MA en matière de protection.

4.2.6 Études d'impact sur le service de radioamateur

Parmi les études présentées dans l'Annexe 6, des mesures de champs ont été effectuées pour les bandes de fréquences des services d'amateurs de 135,7-137,8 kHz et 472-479 kHz.

On dispose de peu d'informations sur les rayonnements harmoniques provenant de systèmes WPT-EV exploités à cette fréquence. La question du brouillage préjudiciable dû aux rayonnements harmoniques est traitée dans le § 4.5.

4.3 Études d'impact pour les systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences 79-90 kHz

4.3.1 Études d'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires

4.3.1.1 Études d'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires utilisant des fréquences de 40 et 60 kHz

L'étude présentée dans l'Annexe 7 concernant l'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires utilisant la gamme de fréquences 40-60 kHz a été réalisée.

Il a été décidé d'utiliser une distance de séparation de 10 m pour évaluer l'impact sur ces dispositifs. En outre, pour ces évaluations, on a également pris en compte les périodes de fonctionnement des dispositifs pour recevoir le service des fréquences étalon et des signaux horaires ne chevauchant pas les horaires de fonctionnement du système WPT-EV, et on a également pris en compte le sens de propagation des ondes du service des fréquences étalon et des signaux horaires et l'amélioration prévue de la performance des récepteurs pour l'avenir de ces dispositifs. En conclusion, l'étude de l'impact des systèmes WPT sur les horloges radiocommandées a permis de confirmer l'absence de brouillage préjudiciable.

4.3.1.2 Études d'impact sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires utilisant la fréquence 77,5 kHz

Il ressort des études présentées sur le DCF77 (Annexe 4), prenant en compte une valeur de champ du système WPT-EV de 68,5 dB μ A/m à 10 m qu'un blocage maximal de 50% des horloges radiocommandées types considérées utilisant la fréquence de 77,5 kHz (DCF77) n'interviendra qu'en deçà de 18 m d'une installation de recharge WPT-EV. Afin de tenir compte du fait que la valeur du champ peut augmenter jusqu'à une valeur maximale de 82 dB μ A/m à 10 m, cette distance serait portée à 31 m. Pour limiter ces conséquences, on peut restreindre la puissance d'émission de l'installation de recharge WPT-EV et soigneusement choisir la fréquence centrale dans la gamme de fréquences 79-90 kHz et, éventuellement, recourir à d'autres techniques d'atténuation (par exemple en interrompant périodiquement le processus de recharge).

4.3.2 Incidences sur certains systèmes de radiocommunication ferroviaires

Les études présentées dans l'Annexe 7 ont pris en compte et examiné les brouillages préjudiciables causés à des systèmes de radiocommunication ferroviaires dans des cas d'utilisation opérationnelle réels, par le biais de simulations et de mesures. On a étudié tout particulièrement le système ATS, qui est utilisé dans le monde entier, fonctionnant dans la gamme de fréquences 10-250 kHz. Les résultats de l'étude ont révélé qu'il fallait une distance de séparation minimale de 5 mètres pour qu'aucun brouillage préjudiciable ne soit causé.

4.3.3 Études d'impact sur les services de radionavigation maritime, y compris les systèmes de navigation

4.3.3.1 Systèmes Loran-C dans la gamme de fréquences 79-90 kHz

Dans les études présentées dans l'Annexe 5 sur la coexistence entre les systèmes Loran-C et les systèmes WPT-EV, l'intensité du rayonnement et le champ dans la gamme de fréquences proposée de 79-90 kHz, y compris la 2^{ème} harmonique des applications WPT de rechargement des véhicules électriques, se réfèrent aux limites proposées par le CISPR. Le critère de protection du système Loran-C se réfère aux Recommandations UIT-R M.589-3 et UIT-R P.372-13.

D'après l'étude relative à la coexistence, dans le cas d'applications à des systèmes WPT-EV uniques et multiples, les rayonnements émis par les dispositifs de recharge WPT-EV ne risqueraient pas de causer de brouillage pour les récepteurs Loran assurant une couverture maritime. Les résultats de

l'étude montrent que la coexistence entre les chargeurs WPT-EV et les systèmes Loran-C est possible, à condition que la gamme de fréquences 79-90 kHz soit identifiée pour les systèmes WPT-EV de moyenne puissance.

4.3.4 Études d'impact sur la radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude

Dans la mesure où la gamme de fréquences 79-90 kHz ne chevauche aucune bande de radiodiffusion, seules les émissions des harmoniques de ces systèmes risquent d'avoir une incidence, et ce parce que, peut-être, les harmoniques sont également utilisées au cours du processus de transfert d'énergie. Les deuxième et troisième harmoniques comprises entre 79 kHz et 90 kHz se situent dans la bande de radiodiffusion à ondes kilométriques (148,5-283,5 kHz) tandis que les harmoniques comprises entre le 6^{ème} rang (90 kHz) et le 21^{ème} rang (79 kHz) se situent dans la bande de radiodiffusion d'ondes hectométriques (525-1705 kHz). On trouvera dans le § 4.4 et dans l'Annexe 8 des études détaillées qui décrivent des analyses fondées sur les critères de protection applicables à la réception de la radiodiffusion MA et les distances de séparation qui peuvent être utilisées entre les bornes de recharge WPT-EV et les récepteurs radio. Dans le cas de chargeurs WPT-EV utilisés pour certains véhicules utilitaires légers électriques, ces études ont conclu que les distances de séparation minimales devaient être comprises entre un et trois mètres. Il ressort également des études qu'il faudrait prévoir des mesures d'atténuation pour protéger la radiodiffusion MA dans les cas où il serait nécessaire de réduire les rayonnements non désirés et où les systèmes WPT-EV devraient être exploités, avec une stabilité et une pureté accrues, sur certaines fréquences. Cela permettrait que les harmoniques correspondantes se situent sur les fréquences qui réduisent l'impact au niveau de la réception de la radiodiffusion MA, compte tenu des grilles de canaux MA. On se référera au § 4.4 pour plus d'informations sur les besoins de production de la radiodiffusion MA.

On trouvera d'autres études dans les Annexes 5 et 7.

D'autres études, présentées dans l'Annexe 5, notamment un essai de brouillage en grandeur réelle, une analyse théorique et des simulations de Monte Carlo, ont été effectuées dans certaines zones urbaines présentant des niveaux élevés du signal de radiodiffusion utile et du niveau de bruit ambiant. Il ressort de ces études que les récepteurs MA peuvent tolérer des niveaux d'émissions rayonnées des systèmes WPT-EV plus élevés dans ces conditions. Dans d'autres scénarios, par exemple dans les zones suburbaines et rurales, il faudrait prévoir, pour atténuer les brouillages, de plus grandes distances de séparation entre l'équipement WPT-EV et le récepteur de radiodiffusion MA. On se référera au § 4.4 pour plus d'informations sur les besoins de la radiodiffusion MA en matière de protection. On trouvera également dans l'Annexe 9 une analyse permettant de concilier les résultats de certaines études avec les limites prescrites au § 4.4.

L'autre étude présentée dans l'Annexe 7 est une étude d'impact fondée sur le niveau de bruit ambiant déduit de la Recommandation UIT-R P.372-13. En maintenant des distances de séparation appropriées entre le matériel WPT-EV et le récepteur de radiodiffusion MA, on a constaté que le niveau des émissions rayonnées du WPT-EV était inférieur au niveau de bruit ambiant, ce qui a permis de conclure que les émissions rayonnées du WPT-EV ne provoquait aucun brouillage préjudiciable des récepteurs de radiodiffusion MA.

4.3.5 Études d'impact sur le service de radioamateur

Parmi les études présentées dans l'Annexe 7, des mesures de champs ont été effectuées pour les bandes de fréquences des services d'amateurs de 135,7-137,8 kHz et 472-479 kHz. Ces fréquences de services d'amateurs risquent peu d'être affectées par les rayonnements à la fréquence de fonctionnement du système WPT-EV.

On dispose de peu d'informations sur les rayonnements harmoniques provenant des systèmes WPT-EV exploités à cette fréquence. La question du brouillage préjudiciable dû aux rayonnements harmoniques est traitée dans le § 4.5.

4.3.6 Études d'impact sur le GPS différentiel

Il convient de mener des études de l'impact du système WPT-EV sur l'application du GPS différentiel dans les services de RADIONAVIGATION.

4.3.7 Étude d'impact pour les radiophares omnidirectionnels

Il convient de mener une étude d'impact des émissions provenant des systèmes WPT-EV sur les radiophares omnidirectionnels dans le service de RADIONAVIGATION.

4.4 Limites des émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour assurer la protection de la radiodiffusion MA

Différentes limites ont été proposées pour les niveaux maximaux absolus des champs électriques et magnétiques utilisés dans les applications par induction fonctionnant à courte portée et à des niveaux de puissance implicites faibles, même si ces derniers ne sont pas spécifiés. Il a également été proposé d'adapter ou de porter ces mêmes limites à des niveaux de puissance moyens/élevés de transmission d'énergie par induction, comme dans le cas d'un dispositif WPT-EV, qui fonctionnera à des puissances comprises entre des dizaines et des centaines de kW. Il ressort toutefois clairement de ces études que les limites de champs existantes ne permettent pas d'assurer la protection requise des services radio. En effet, ces limites sont généralement supérieures de plusieurs dizaines de dB aux valeurs requises pour protéger un récepteur de radiodiffusion placé à proximité d'un dispositif de transmission d'énergie par induction. En prenant l'exemple d'un récepteur de radiodiffusion fonctionnant à 900 kHz dans une bande à ondes hectométriques, au bord de sa zone de couverture protégée, l'UER a montré (voir le § A8.4) que le champ magnétique brouilleur maximal acceptable, au niveau du récepteur, est de $-43,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$. En revanche, et à titre d'exemple, la Recommandation CEPT/ERC 74-01 fixe la limite de champ magnétique à $7,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ pour les émissions parasites d'un dispositif à courte portée (SRD) à cette même fréquence à une distance de 10 m du dispositif, c'est-à-dire à 50,0 dB de plus, même en ne tenant pas compte du fait que le système WPT-EV peut se situer à moins de 10 mètres du récepteur «victime du brouillage». Pour qu'un dispositif WPT-EV à induction, émettant ce niveau de rayonnements parasites ne provoque pas de brouillage avec le récepteur de radiodiffusion, il est nécessaire que la distance de séparation soit d'environ 90 m, en vue de garantir la protection requise.

Les limites existantes en matière d'émissions rayonnées ne provoquent pas forcément de problèmes pour les applications autres que les WPT-EV. D'autres paramètres qui ont été pris en compte, comme l'intermittence de fonctionnement, les caractéristiques d'antennes, etc. ainsi que l'emplacement et l'importance de l'utilisation, ont permis de faire en sorte que le phénomène de brouillage soit suffisamment faible pour être ignoré. En outre, l'existence d'une limite de champ n'implique pas forcément qu'un dispositif situé dans ce champ fonctionne réellement à un niveau qui soit proche de la valeur limite. Généralement les SRD sont alimentés par batteries et il est donc nécessaire au niveau de la conception de tout mettre en œuvre pour maintenir les rayonnements inutiles à leur minimum. Les systèmes WPT-EV néanmoins sont susceptibles de fonctionner à une puissance élevée, de manière continue (éventuellement pendant plusieurs heures d'affilée) et à proximité des récepteurs de radiodiffusion. La Pièce jointe 5 à l'Annexe 8 du présent Rapport montre qu'une distance de 3 m constitue une distance de séparation minimale raisonnable entre un système WPT-EV et un récepteur de radiodiffusion. Par convention, on estime que les champs magnétiques se situent généralement à une distance de 10 m de la source, et de ce fait il va être nécessaire d'appliquer des facteurs de correction pour faire en sorte que la condition «d'absence de brouillage» s'applique dans les différents scénarios. Dans les circonstances examinées (située à

quelques dizaines de mètres de la source de brouillage le champ magnétique varie avec le cube de la distance.

Deux méthodes sur la compatibilité entre les systèmes WPT-EV et les systèmes de radiodiffusion sonore sont décrites dans le Rapport UIT-R SM.2303, et sont précisées plus avant dans le présent Rapport. La première repose sur les critères de protection existants de l'UIT-R applicables au signal de radiodiffusion MA, tandis que la seconde est fondée sur les critères selon lesquels les rayonnements harmoniques produits par les systèmes WPT-EV qui viennent se placer dans les bandes attribuées au service de radiodiffusion sonore à ondes kilométriques et hectométriques devraient être inférieurs aux niveaux de bruit ambiant.

NOTE – Comme le montre une étude présentée dans la Pièce jointe 7 à l'Annexe 8, pour qu'une source de brouillage unique soit inaudible/masquée, elle doit au moins être inférieure de 10 dB au niveau de bruit de fond.

Compte tenu des dispositions des Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560, on obtient avec la première méthode des niveaux de brouillage admissibles de -37 dB μ A/m dans la bande attribuée au service de radiodiffusion à ondes kilométriques (148,5-283,5 kHz) et de -43 dB μ A/m dans la bande attribuée au service de radiodiffusion à ondes hectométriques (526,5-1 606,5 kHz dans les Régions 1 et 3) à l'emplacement du récepteur.

Sur la base des niveaux de bruit ambiant figurant dans la Recommandation UIT-R P.372-13, on obtient avec la seconde méthode des niveaux de brouillage admissibles de $-25,5$ dB μ A/m dans les villes, de $-30,5$ dB μ A/m dans les quartiers résidentiels, de $-34,5$ dB μ A/m dans les zones rurales et de $-48,5$ dB μ A/m dans les zones rurales calmes, à 500 kHz, à l'emplacement du récepteur. Les résultats de certaines mesures montrent que les niveaux de bruit ambiant dans certaines villes et certains quartiers résidentiels sont nettement plus élevés que les niveaux indiqués ci-dessus.

La seconde méthode ne prend pas en compte le fait que la source de brouillage doit être au moins inférieure de 10 dB au bruit de fond pour être inaudible/masquée.

Dans le Rapport BBC [WHP 332](#) (Pièce jointe 6 à l'Annexe 8) il a été démontré que la propension réelle au brouillage dépend fortement de la fréquence de fonctionnement précise du système WPT-EV, et surtout, de ses harmoniques majeures. Si l'harmonique brouilleuse du dispositif WPT-EV se situe à environ ± 50 Hz de la fréquence porteuse utile de la radiodiffusion, le champ de protection de $-43,0$ dB μ A/m (pour les ondes hectométriques) au niveau du récepteur (ou à une distance de 3 m de la borne de recharge du système WPT-EV) peut être assoupli à $-13,0$ dB μ A/m, ce qui constitue un assouplissement majeur de 30 dB.

En pratique, toutes les transmissions à ondes kilométriques et à ondes hectométriques fonctionnent sur une grille de fréquences fixes. Dans les Régions 1 et 3 de l'UIT tous les canaux sont centrés (ont leur fréquence porteuse réglée sur) un multiple de 9 kHz et dans la Région 2 chaque porteuse est un multiple de 10 kHz (voir également Pièces jointes 1 et 2 à l'Annexe 8, dans lesquelles figurent des renseignements sur les émetteurs de radiodiffusion à ondes kilométriques et à ondes hectométriques dans les parties des Régions 1 et 2). Cela a pour but de minimiser les brouillages préjudiciables entre les stations de radio elles-mêmes et de faciliter le processus de planification des réseaux, mais a néanmoins un impact sur le choix de la fréquence de fonctionnement du dispositif WPT-EV. Le choix de 90 kHz, par exemple, comme fréquence de fonctionnement du système WPT-EV permettrait de garantir automatiquement l'alignement de toutes les harmoniques sur les fréquences porteuses de radiodiffusion des Régions 1, 2 et 3.

En résumé, pour éviter tout brouillage préjudiciable des systèmes de WPT-EV sur les transmissions par radiodiffusion à ondes kilométriques et à ondes hectométriques, les systèmes WPT-EV doivent être conçus avec soin et faire preuve d'une haute qualité technique. À cette fin, les paramètres clés sont le choix approprié des fréquences de fonctionnement, le contrôle précis tant de la fréquence que de la stabilité et le maintien des rayonnements des harmoniques au plus faible niveau possible.

On trouvera dans les Tableaux 7 et 8 ci-après, les valeurs limites de niveaux admissibles d'émissions d'harmoniques des systèmes WPT-EV.

TABLEAU 7

Limites pour les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour garantir la protection des services de radiocommunication exploités à des fréquences inférieures à 30 MHz lorsque le système WPT n'est PAS verrouillé sur la grille de canaux de radiodiffusion⁽¹⁾

Service	Bande	Puissance du dispositif WPT-EV ⁽²⁾	Prescriptions en matière de protection/limites des harmoniques du dispositif WPT-EV (à une distance de séparation minimale ou au niveau de l'antenne du récepteur)			Corrigées pour une distance de mesure de 10 m ⁽³⁾
			1 m	3 m	10 m	
Radiodiffusion	ONDES KILOMÉTRIQUES 148,5-283,5 kHz	Basse/Faible	-37 dBμA/m			-97 dBμA/m
		Moyenne		-37 dBμA/m		-68 dBμA/m
		Élevée			-37 dBμA/m	-37 dBμA/m
	ONDES HECTOMÉTRIQUES 526,5-1 606,5 kHz	Basse/Faible	-43 dBμA/m			-103 dBμA/m
		Moyenne		-43 dBμA/m		-74 dBμA/m
		Élevée			-43 dBμA/m	-43 dBμA/m
	ONDES DÉCAMÉTRIQUES 2,30-26,10 MHz ⁽⁴⁾	Basse/Faible	-63 dBμA/m			-123 dBμA/m
		Moyenne		-63 dBμA/m		-94 dBμA/m
		Élevée			-63 dBμA/m	-63 dBμA/m

⁽¹⁾ Lorsque les harmoniques du dispositif WPT-EV SONT alignées sur la grille de fréquences de radiodiffusion, on peut tolérer un assouplissement de 30 dB dans ces chiffres – Tableau 4-1A.

⁽²⁾ Classes de puissance de la transmission d'énergie sans fil (WPT): Le système WPT-EV haute puissance est supérieur à 22 kW; Le système WPT-EV moyenne puissance se situe entre 3,3 kW et 22 kW. Le système WPT-EV faible puissance se situe entre 50 W et 3,3 kW; Le système WPT-EV faible puissance est inférieur à 50 W.

⁽³⁾ Voir Pièce jointe 5 à l'Annexe 8.

⁽⁴⁾ La bande de radiodiffusion à ondes décimétriques (Bande 7) se divise en 14 sous-bandes: 2,30-2,495, 3,20-3,40, 3,90-4,00, 4,75-5,06, 5,80-6,20, 7,20-7,45, 9,40-9,90, 11,60-12,10, 13,57-13,87, 15,10-15,83, 17,48-17,90, 18,90-19,02, 21,45-21,85 et 25,60-26,10 (toutes en MHz).

TABLEAU 8

Limites pour les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour garantir la protection des services de radiocommunication exploités à des fréquences inférieures à 30 MHz lorsque le système WPT est VERROUILLÉ sur la grille de canaux de radiodiffusion

Service	Bande	Puissance du dispositif WPT-EV ⁽²⁾	Prescriptions en matière de protection/limites des harmoniques du dispositif WPT-EV (à une distance de séparation minimale ou au niveau de l'antenne du récepteur)			Corrigées pour une distance de mesure de 10 m ⁽³⁾
			1 m	3 m	10 m	
Radiodiffusion	BASSES FRÉQUENCES 148,5-283,5 kHz	Basse/Faible	-7 dB μ A/m			-67 dB μ A/m
		Moyenne		-7 dB μ A/m		-38 dB μ A/m
		Élevée			-77 dB μ A/m	-7 dB μ A/m
	MOYENNES FRÉQUENCES 526,5-1 606,5 kHz	Basse/Faible	-13 dB μ A/m			-73 dB μ A/m
		Moyenne		-13 dB μ A/m		-44 dB μ A/m
		Élevée			-13 dB μ A/m	-13 dB μ A/m
	HAUTES FRÉQUENCES 2,30-26,10 MHz ⁽⁴⁾	Basse/Faible	-33 dB μ A/m			-93 dB μ A/m
		Moyenne		-33 dB μ A/m		-64 dB μ A/m
		Élevée			-33 dB μ A/m	-33 dB μ A/m

⁽¹⁾ Classes de puissance de la transmission d'énergie sans fil (WPT): Le système WPT-EV haute puissance est supérieur à 22 kW; Le système WPT-EV moyenne puissance se situe entre 3,3 kW et 22 kW. Le système WPT-EV faible puissance se situe entre 50 W et 3,3 kW; Le système WPT-EV faible puissance est inférieur à 50 W.

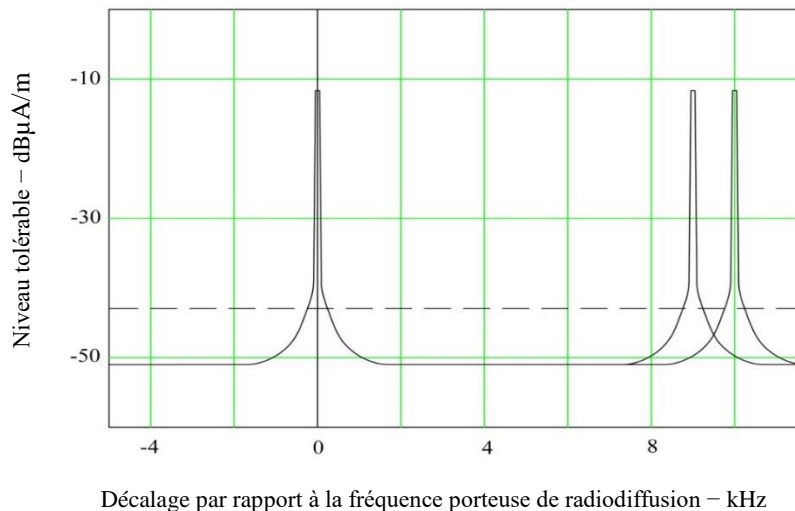
⁽²⁾ Voir Pièce jointe 5 à l'Annexe 8.

⁽³⁾ La bande de radiodiffusion haute fréquence (Bande 7) se divise en 14 sous-bandes: 2,30-2,495, 3,20-3,40, 3,90-4,00, 4,75-5,06, 5,80-6,20, 7,20-7,45, 9,40-9,90, 11,60-12,10, 13,57-13,87, 15,10-15,83, 17,48-17,90, 18,90-19,02, 21,45-21,85 et 25,60-26,10 (toutes en MHz).

La Fig. 6 illustre l'effet du fonctionnement sur une «grille de fréquences».

FIGURE 6

Gabarit spectral représentant les limites des émissions rayonnées des systèmes WPT-EV en fonction du décalage par rapport à la fréquence porteuse de radiodiffusion en modulation d'amplitude



Dans la Fig. 6, la ligne en trait plein illustre le niveau de brouillage admissible à partir d'un brouilleur sinusoïdal non modulé, en l'absence de masquage de bruit, tandis que la ligne en pointillés illustre l'effet du masquage de bruit à la limite de la réception. Ce masque ne peut être utilisé qu'avec un seul brouilleur sinusoïdal (voir également la Pièce jointe 7 à l'Annexe 8).

4.5 Impact des émissions rayonnées harmoniques et parasites sur le service d'amateur et prescriptions pertinentes en matière de protection

Les trois gammes de fréquences envisagées pour les systèmes WPT-EV ne chevauchent pas les bandes de fréquences de 135,7-137,8 kHz et 472 kHz du service d'amateur et sont placées à une distance raisonnable de ces dernières. En conséquence, la suppression de la sensibilité du récepteur (hors bande) n'a pas été considérée comme un problème.

Différentes limites ont été proposées pour les niveaux maximaux absolus des champs électriques et magnétiques utilisés dans les applications par induction fonctionnant à courte portée et à des niveaux de puissance implicites faibles, même si ces derniers ne sont pas spécifiés. Il a également été proposé d'adapter ou de porter ces mêmes limites à des niveaux de puissance moyens/élevés de transmission d'énergie par induction, comme dans le cas d'un dispositif WPT-EV, qui fonctionnera à des puissances comprises entre des dizaines et des centaines de kW. Il ressort toutefois clairement de ces études que les limites de champ existantes ne permettent pas d'assurer la protection requise des services de radiocommunication.

Les bandes de fréquences des services d'amateur à partir de 472 kHz et plus sont potentiellement affectées par les rayonnements harmoniques émis par un dispositif WPT-EV exploité à 79-90 kHz et éventuellement par un dispositif WPT-EV fonctionnant à 20 kHz et 60 kHz.

Selon le Rapport UIT-R SM.2303, le brouillage des services d'amateur n'a pas été étudié. D'autres articles transmis ultérieurement à l'UIT-R ont confirmé que les limites des émissions rayonnées harmoniques, telles que définies par l'UIT-R et/ou le CISPR pour d'autres dispositifs à induction, sont loin d'assurer une protection appropriée des services d'amateur contre le brouillage préjudiciable provoqué par un système WPT-EV dans cette gamme de fréquences.

Il est possible d'utiliser les niveaux de protection prévus pour le service d'amateur, énoncés dans les Recommandations UIT-R F.240 et UIT-R M.1044 et utilisés dans les études figurant dans l'Annexe 10, pour guider l'élaboration des limites de rayonnements harmoniques appropriés. La question du bruit à large bande causé par les systèmes WPT-EV n'a pas été étudiée, mais les prescriptions élaborées en matière de protection peuvent également s'appliquer à ce type de rayonnement.

La distance de séparation des systèmes exploités à 20 et 60 kHz devrait permettre d'assurer une protection raisonnable contre les émissions rayonnées harmoniques des systèmes WPT-EV, bien que cette question doive encore être validée.

Le coefficient d'utilisation élevé des systèmes WPT-EV fonctionnant à 79-90 kHz, leur emplacement prévu à proximité ou à l'intérieur d'habitations (et en conséquence à proximité d'antennes de services d'amateurs) et leur densité de déploiement prévue montrent que les émissions rayonnées harmoniques des systèmes WPT-EV dans cette gamme de fréquence devront faire l'objet de contrôles précis en vue d'éviter tout problème de brouillage préjudiciable. De manière spécifique, l'adoption de limites relatives en matière d'émissions rayonnées provenant des dispositifs à induction pour d'autres applications et d'autres dispositifs ne permettrait pas de garantir le niveau de protection requis. Le phénomène de brouillage préjudiciable pour le service d'amateur sera inévitable si les systèmes WPT-EV sont exploités à ces limites ou à des valeurs proches de ces dernières.

L'étude figurant dans l'Annexe 10 modélise la protection requise pour les services d'amateurs et illustre la nécessité de mettre en place des limites plus strictes pour les systèmes WPT-EV. La limite d'émissions rayonnées requise pour garantir la protection appropriée est la suivante:

*–45,5 dB μ A/m à 300 kHz avec une réduction de 8 dB par décade de fréquence, jusqu'à
–61,5 dB μ A/m à 30 MHz.
Mesures effectuées à une distance de 10 m dans une largeur de bande de 10 kHz.*

Toutefois, les limites nécessaires pour les émissions rayonnées harmoniques provenant des systèmes WPT-EV peuvent être assouplies à ce niveau d'environ 20 dB si:

- a) tous les systèmes de WPT-EV adoptent une fréquence de fonctionnement harmonisée avec des tolérances strictes étroites; et
- b) le bruit de phase et le bruit en bandes latérales du système WPT-EV ne dépassent pas la limite susmentionnée.

Des données relatives aux émissions rayonnées harmoniques limitées ont été fournies pour les systèmes de WPT-EV fonctionnant à 79-90 kHz. Toutefois, les données fournies montrent que ces systèmes sont prévus pour fonctionner à des valeurs proches des limites d'émission de la Recommandation UIT-R SM.329. S'agissant des services de radiocommunication, les questions d'impact décrites dans l'Annexe 10 représentent en conséquence une menace importante pour le service d'amateur.

5 Mesures d'harmonisation et d'atténuation visant à minimiser l'impact des systèmes WPT-EV sur les services de radiocommunication

5.1 Harmonisation à l'échelle mondiale

Dans le présent rapport, le terme d'harmonisation prend en compte les deux paramètres ci-après:

- 1) Les gammes de fréquences devant être utilisées par l'équipement WPT-EV.
- 2) Les caractéristiques de l'équipement WPT-EV par rapport à la question de la protection des autres services de radiocommunication.

Les deux points ci-dessus pris en compte en matière d'harmonisation peuvent faciliter la production de masse et le déploiement des systèmes WPT-EV tout en protégeant le fonctionnement des services de radiocommunication contre tout brouillage potentiel provoqué par l'équipement WPT-EV.

S'agissant des gammes de fréquences harmonisées, la Recommandation UIT-R SM.2110 indique les bandes de fréquences recommandées pour les dispositifs WPT-EV.

En ce qui concerne les caractéristiques des équipements WPT-EV, le § 3.1 et l'Annexe 2 du présent rapport précisent les limites de champ que l'équipement WPT-EV ne doit pas dépasser dans les différentes bandes de fréquences pour les divers services de radiocommunication concernés.

5.2 Mesures d'atténuation

5.2.1 Stratégies d'atténuation pour réduire l'impact sur les services de radiodiffusion

Le fonctionnement des émetteurs de radiodiffusion à modulation d'amplitude est visé par le Règlement des radiocommunications. Dans les Régions 1 et 3, l'instrument pertinent est le Plan de fréquences conclu à Genève en 1975 (GE75) et dans la Région 2 le Plan de fréquences conclu à Rio de Janeiro en 1981 (RJ81). Ces accords internationaux attribuent des fréquences de fonctionnement aux émetteurs à ondes kilométriques et hectométriques de telle sorte qu'ils ne sont pas sources de

brouillage l'un pour l'autre, en se fondant sur des facteurs tels que la séparation géographique, la puissance de l'émetteur et les caractéristiques d'antenne. Ces plans se fondent sur les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560. Fait majeur, les plans d'attribution régionaux fixent les fréquences de fonctionnement de l'émetteur sur une grille de fréquences. Au titre du Plan GE75 la fréquence (porteuse) est de 9 kHz et conformément au Plan RJ81 un multiple de 10 kHz.

Le fait de placer toutes les porteuses sur une grille commune présente l'avantage que le brouillage dans le même canal est jusqu'à 16 dB moins intrusif que lorsque les fréquences sont choisies au hasard, ce qui est illustré par la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R BS.560.

Il est possible d'appliquer le même principe à un système WPT-EV si sa fréquence de fonctionnement peut être choisie et fixée comme un multiple de 9 kHz ou 10 kHz. Lorsque la fréquence de fonctionnement est choisie de cette manière, toutes les harmoniques vont (automatiquement) se situer sur la grille de fréquences de la radiodiffusion. Des études ont été effectuées par la BBC en novembre 2017 en vue d'examiner les effets subjectifs du brouillage provoqué par une porteuse non modulée située sur la grille de fréquences ou hors de celle-ci. Ces études sont décrites dans le Livre blanc de la Recherche et du Développement de la BBC WHP 332, publié en novembre 2017, intitulé «Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception» (Transmission d'énergie sans fil: brouillage provoqué par une porteuse pure au niveau de la réception à modulation d'amplitude) qui figure dans la Pièce jointe 6 à l'Annexe 8.

Il ressort de cette étude que si la fréquence de fonctionnement du dispositif WPT-EV et ses harmoniques² sont des sinusoïdes simples et proches des fréquences de la grille de radiodiffusion, elles peuvent être plus fortes de 22 dB (bien au-dessus de la valeur de 16 dB préconisée dans la Recommandation UIT-R BS.560, soit supérieures de 38 dB au total) sans avoir d'effet audible préjudiciable sur le signal audio démodulé émis par le récepteur. Ce principe pourrait clairement constituer la base d'une technique d'atténuation utile. On trouvera une description détaillée de cette technique et son application potentielle dans l'Annexe 8.

S'agissant des émissions extérieures des systèmes WPT-EV au niveau du récepteur (ou au niveau de la distance de séparation minimale anticipée), lors de l'exploitation sur la grille de canaux de radiodiffusion, les niveaux admissibles sont les suivants:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): $-7,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$;
- la Bande 6 (ondes hectométriques): $-13,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$; (c)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): $-34,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$.

Ou à une distance de mesure de 10 mètres;

- la Bande 5 (ondes kilométriques): $-38,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$;
- la Bande 6 (ondes hectométriques): $-44,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$; (d)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): $-64,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$.

² Si les fréquences de fonctionnement du dispositif WPT-EV (pour les bornes de recharge des véhicules) se limitent à la gamme de fréquences de 79-90 kHz, seules les harmoniques auront un impact sur le service de radiodiffusion.

5.2.2 Autres facteurs

5.2.2.1 Modulation du «champ» de chargement

Il a été suggéré d'utiliser la borne de recharge WPT pour transférer des données à l'élément en charge en modulant d'une certaine manière le «champ» (magnétique) de chargement. Pour assurer la communication dans l'autre sens, un système séparé serait nécessaire. Toute tentative visant à moduler le «champ» de chargement se manifesterait par la présence de bandes latérales. Il conviendrait alors de limiter l'énergie de ces bandes latérales car elle risquerait de brouiller les services de radiodiffusion même lorsque la fréquence de base se situe exactement sur la grille. À ce stade, il est nécessaire d'examiner les systèmes de modulation prévus. Dans le cas d'une borne de recharge de haute puissance, il serait logique d'envisager la possibilité de communiquer sur de très courtes distances plus simplement qu'en modulant le «champ» de chargement à haute puissance.

5.2.2.2 Perturbations du service d'amateur

Il convient également de noter que le fait de verrouiller la fréquence de fonctionnement du dispositif WPT sur la grille de radiodiffusion a une incidence bénéfique sur la perturbation du service d'amateur, dans la mesure où toutes les harmoniques se situent sur des fréquences «caractéristiques» spécifiques et ne sont pas réparties sur la totalité du spectre.

Cela permet d'éviter tout brouillage préjudiciable sur la majorité du spectre et permet alors un assouplissement significatif dans les niveaux d'émissions rayonnées harmoniques requis.

6 Conclusions

Dans le présent rapport, on a examiné l'impact sur les services de radiocommunication fonctionnant à des fréquences inférieures à 30 MHz des rayonnements émis par l'équipement et les systèmes utilisés pour effectuer la transmission d'énergie sans fil pour recharger les véhicules électriques (WPT-EV).

Dans le cadre de ces études, on a examiné les services qui fonctionnent à des fréquences égales ou proches des fréquences de fonctionnement proposées pour les WPT-EV et également les services susceptibles d'être affectés par les rayonnements émis par ces systèmes WPT-EV sur les autres fréquences, en particulier les fréquences qui sont en relation harmonique avec la fréquence nominale de fonctionnement. D'autres travaux devraient être menés au sein de l'UIT-R en vue d'examiner les limites qu'il convient d'imposer pour les rayonnements émis par les systèmes WPT-EV pour protéger les services de radiocommunications.

Les applications et les services de radiocommunication examinés ont été les suivants: le service de radiodiffusion, le service des fréquences étalon et des signaux horaires, le service d'amateur, les services de radionavigation maritimes (Loran-C), les systèmes d'avertissement automatique et de protection des trains, les systèmes de contrôle de la modulation et de détection de la foudre.

Les systèmes WPT-EV ne possèdent pas de statut défini ou implicite en vertu duquel ils auraient priorité sur les services de radiocommunication, notamment en ce qui concerne la source de brouillage préjudiciable (voir numéros **15.12** et **15.13** du RR). Les fréquences de fonctionnement, les niveaux de puissance, et les rayonnements émis par des systèmes WPT-EV devraient en conséquence être réglés de manière à éviter tout brouillage préjudiciable des services de radiocommunication.

S'agissant de l'impact des services fonctionnant à la fréquence du dispositif WPT-EV, ou à une fréquence proche, le principal sujet de préoccupation concerne l'incidence sur les services de fréquences étalon et de signaux horaires exploités à 60 kHz et 77,5 kHz.

Il ressort d'une étude portant sur les services de fréquences étalon et de signaux horaires à 60 kHz qu'un système WPT-EV fonctionnant en tout emplacement en respectant les limites de 55-65 kHz proposées par le CISPR (voir l'Annexe 3), provoquera un brouillage préjudiciable pour le système de fréquences étalon et de signaux horaires fonctionnant à 60 kHz. Il a également été démontré que pour un scénario d'utilisation d'un dispositif WPT-EV dans la rue, avec des distances de séparation de 10 à 20 mètres, le dispositif WPT-EV sera source de brouillage préjudiciable dans tous les cas étudiés. Pour un scénario d'utilisation d'un dispositif WPT-EV dans un dépôt, la coexistence peut être possible pour des séparations de fréquences supérieures à ± 4 kHz à condition que la distance de séparation soit supérieure à 50 m et le champ soit égal à 34 dB μ A/m à 10 m. Selon une autre étude, le brouillage survenant à 60 kHz pour un service de fréquences étalon et de signaux horaires pourrait être atténué si la fréquence fondamentale était décalée à 21 kHz, ce qui à son tour décalerait la troisième harmonique à 63 kHz, mais cette observation n'est fondée sur aucune analyse de coexistence.

L'analyse démontre toutefois que les fréquences doivent être séparées de ± 4 kHz. S'il est possible de garantir une distance de séparation de 100 m entre le système WPT-EV et le système de fréquences étalon et de signaux horaires, alors la séparation des fréquences peut être assouplie à ± 3 kHz et le champ peut être de 44 dB μ A/m à 10 m.

Une étude portant sur les systèmes de fréquences étalon et de signaux horaires fonctionnant à une fréquence de 77,5 kHz montre qu'un système WPT-EV exploité dans la bande de fréquences de 79-90 kHz avec une limite de 68,5 dB μ A/m pour les principales émissions a un impact sur la réception des fréquences étalon et des signaux horaires au champ minimal utile de 50 dB μ V/m, lors de son fonctionnement à une distance de 10 mètres. La distance de protection pour les services de fréquences étalon et de signaux horaires fonctionnant à 77,5 kHz est fonction du champ utile, des rayonnements brouilleurs et du décalage de fréquence.

Il ressort des études menées que le fonctionnement d'un système WPT-EV dans les bandes de fréquences de 19-21 kHz, 55-65 kHz et 79-90 kHz (voir Tableau 9) requiert un contrôle strict des rayonnements émis par les systèmes WPT-EV pour assurer leur compatibilité avec les services de radiocommunication auxquels d'autres bandes de fréquences ont été attribuées, en particulier, des bandes de fréquences en relation harmonique. Ces études ont mis en exergue la question préoccupante de l'impact des rayonnements émis par les systèmes WPT-EV sur les services de radiodiffusion et les services d'amateur. Selon certaines études, les limites d'émission actuelles pour les systèmes WPT-EV pourraient se traduire par un brouillage préjudiciable pour ces services de radiocommunication. Les éléments sur lesquels se fondent la présente conclusion figurent dans les études individuelles.

Plusieurs aspects du présent rapport font encore l'objet d'un examen critique, notamment en ce qui concerne la manière dont les limites des «perturbations rayonnées» utilisés dans certaines de ces études ont été déduites des limites établies pour diverses applications ISM et IRD, qui initialement, risquaient peu de brouiller les services de radiocommunication. Ces limites ont maintenant été mises en service à titre de référence pour les systèmes WPT-EV lorsque les hypothèses et la méthodologie initiales ne peuvent plus être acceptées comme représentant l'environnement électromagnétique dans lequel la majorité des produits électriques et électroniques à usage domestique est utilisée aujourd'hui, et encore moins comme l'environnement validé pour l'utilisation projetée (voir le 6/9.1.6/2 du Rapport de la RPC à la CMR-19) de bornes de recharge de WPT-EV d'une puissance beaucoup plus élevée.

Aucune conclusion n'a pu être tirée en ce qui concerne les services aéronautiques, les systèmes de contrôle de modulation et de détection de la foudre.

Ce sont les Rapports et Recommandations de l'UIT-R, complétés par d'autres études et documentations considérées comme nécessaires qui promulguent le mieux les limites à adopter concernant les techniques de rayonnement et d'atténuation, ainsi que d'autres questions, y compris

les orientations à fournir aux administrations. La documentation actuelle et celle prévue pour l'utilisation des systèmes WPT-EV comprennent:

- les fréquences pertinentes pour les systèmes WPT-EV, qui sont spécifiées dans la Recommandation UIT-R SM.2110;
- les limites à adopter pour les rayonnements émis par les systèmes WPT-EV sur les fréquences de fonctionnement et d'autres fréquences, y compris les fréquences en relation harmonique, devant être spécifiées dans une nouvelle Recommandation UIT-R; et
- les résultats d'études connexes et d'exemples d'approches nationales en matière de réglementation, fournis dans les Annexes du présent Rapport.

L'UIT-R devra œuvrer en coopération avec les organisations de normalisation en vue de garantir que les gammes de fréquences et les limites techniques appropriées soient intégrées dans les normes comme cela est nécessaire pour assurer la protection des services de radiocommunication.

TABLEAU 9

Bandes de fréquences et niveaux de puissance pour les systèmes WPT-EV

Catégories	Niveau de puissance	Bande de fréquences	Applications des systèmes WPT
Dispositif WPT-EV haute puissance	Plus de 22 kW	19-21 kHz	Poids lourds électriques (par exemple, bus, tram, camion)
	Plus de 22 kW	55-57 kHz ⁽¹⁾	Poids lourds électriques (par exemple, bus, tram, camion)
	Plus de 22 kW	63-65 kHz ⁽¹⁾	Poids lourds électriques (par exemple, bus, tram, camion)
Dispositif WPT-EV puissance moyenne	Jusqu'à 22 kW	79-90 kHz	Véhicules utilitaires légers électriques génériques

⁽¹⁾ Ne doit pas être utilisée pour la fréquence fondamentale des systèmes WPT-EV. Dans l'hypothèse d'une distance de séparation minimale de 50 m entre les systèmes WPT-EV et les récepteurs du service des fréquences étalon et des signaux horaires, la troisième harmonique doit se situer dans la gamme de fréquences 64-65 kHz ou 55-56 kHz et les émissions WPT doivent être limitées à 35 dB μ A/m à 10 m. Si une distance de séparation supérieure à 100 m entre les systèmes WPT-EV et les récepteurs du service des fréquences étalon et des signaux horaires peut être garantie, la troisième harmonique peut se situer dans la gamme 63-65 kHz ou 55-57 kHz et les émissions WPT doivent être limitées à 44 dB μ A/m à 10 m.

Annexe 1

Caractéristiques techniques et prescriptions en matière de protection des services de radiocommunication devant être utilisés dans les études d'impact des systèmes WPT-EV

A1.1 Services maritimes

Les caractéristiques techniques prescrites pour les bandes de fréquences de 190-535 kHz et 285-325 kHz figurent dans l'Appendice 12 du Règlement des radiocommunications, et les caractéristiques techniques prévues pour les bandes de 2,8-22 MHz figurent dans l'Appendice 27 de ce même Règlement.

TABLEAU A1-1
Caractéristiques techniques des services maritimes

Bandes de fréquences	Recommandations	Titre	Sections pertinentes
90-110 kHz ⁽¹⁾	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 entre 70 et 130 kHz	Annexe 1 § 2
285-325 kHz ⁽¹⁾	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)	Annexe 1 § 1
490-518 kHz ⁽¹⁾	UIT-R M.2010	Caractéristiques du système numérique NAVDAT de diffusion d'informations relatives à la sécurité et à la sûreté en mer dans le sens côtière-navire dans la bande de fréquences de 500 kHz	Annexe 3 Tableau 1
1,6-3,8 MHz ⁽¹⁾	UIT-R M.1173	Caractéristiques techniques des émetteurs à bande latérale unique utilisés dans le service mobile maritime pour la radiotéléphonie dans les bandes comprises entre 1 606,5 kHz (1 605 kHz Région 2) et 4 000 kHz et entre 4 000 kHz et 27 500 kHz	Annexe 1
	UIT-R M.1171	Procédures radiotéléphoniques dans le service mobile maritime	Annexe 1 § 2 et § 3
4-27,5 MHz ^{(1), (2)}	UIT-R M.1173	Caractéristiques techniques des émetteurs à bande latérale unique utilisés dans le service mobile maritime pour la radiotéléphonie dans les bandes comprises entre 1 606,5 kHz (1 605 kHz Région 2) et 4 000 kHz et entre 4 000 kHz et 27 500 kHz	Annexe 1
	UIT-R M.1171	Procédures radiotéléphoniques dans le service mobile maritime	Annexe 1 § 2 et § 3

⁽¹⁾ Éléments définis comme service de sécurité au titre de la Recommandation UIT-R SM.1535.

⁽²⁾ Éléments à examiner dans les études pour la bande de fréquences de 6 765-6 795 kHz.

TABLEAU A1-2
Caractéristiques techniques des services aéronautiques

Bandes de fréquences	Recommandations	Titre	Sections pertinentes
190-535 kHz ⁽¹⁾	UIT-R SM.1535	Dictionnaire des données de radiocommunication	Annexe 1 § 2.4
2,8-22 MHz ^{(1), (2)}	UIT-R M.1458	Utilisation des bandes de fréquences comprises entre 2,8-22 MHz par le service mobile aéronautique (R) pour la transmission de données en classe d'émissions J2D	Annexe 1

(1) Éléments définis comme service de sécurité au titre de la Recommandation UIT-R SM.1535.
(2) Éléments à examiner dans les études pour la bande de fréquences de 6 765-6 795 kHz.

A1.2 Service d'amateur

TABLEAU A1-3
Caractéristiques techniques des services d'amateur

Bandes de fréquences	Recommandations	Titre	Sections pertinentes
Toutes	UIT-R M.1732	Caractéristiques de systèmes exploités dans les services d'amateur et d'amateur par satellite à utiliser pour les études de partage	Corps de texte (partie intitulée <i>recommande</i>) et Tableau 1A
F < 30 MHz	UIT-R M.1044	Critères de partage des fréquences dans les services d'amateur et d'amateur par satellite	§ 5
F < 30 MHz	UIT-R F.240	Rapport de protection signal/brouillage pour diverses classes d'émission dans le service fixe des fréquences inférieures à 30 MHz environ	Tableau 1

A1.3 Service de fréquences étalon et de signaux horaires

TABLEAU A1-4
Stations de services de fréquences étalon et de signaux horaires

Station (indicatifs d'appel)	Coordonnées	Fréquence (kHz)	Puissance rayonnée (kW)
DCF77	50O 01' N 09O 00' E	77,5	30
JJY40	37O 22' N 14O 51' E	40	10
JJY60	33O 28' N 13O 11' E	60	20

TABLEAU A1-4 (*fin*)

Station (indicatifs d'appel)	Coordonnées	Fréquence (kHz)	Puissance rayonnée (kW)
MSF	54O 55' N 03O 15' W	60	16
WWVB	40O 40' N 105O 03' W	60	70

La bande de fréquences de 19,95-20,05 kHz est attribuée au service de fréquences étalon et de signaux horaires en se fondant essentiellement sur le Tableau d'attribution des bandes de fréquences. Le numéro **5.56** du Règlement des radiocommunications dispose que les stations des services auxquelles sont attribuées les bandes de fréquences 14-19,95 kHz et 20,05-70 kHz et dans la Région 1 également les bandes de fréquences de 72-84 kHz et 86-90 kHz peuvent transmettre des signaux de fréquences étalon et des signaux horaires. De telles stations seront protégées de tout brouillage préjudiciable.

TABLEAU A1-5

**Champ minimal utilisable pour les services de fréquences étalon
et de signaux horaires MSF, WWVB et DCF77**

	Champ minimal utilisable
Champ électrique	40 dB μ V/m (100 uV/m)
Champ magnétique	-11,50 dB μ A/m

TABLEAU A1-6

**Champ minimal utilisable de l'onde JJY pour les services
de fréquences étalon et de signaux horaires**

	Champ minimal utilisable
Champ électrique	60 dB μ V/m

TABLEAU A1-7

**Critères de protection sur la même fréquence pour les services de fréquences étalon
et de signaux horaires MSF, WWVB et DCF77 SFTS**

	Rapport de protection	Signal brouilleur maximal admissible dans un champ proche ou dans un champ lointain (champ E)	Signal brouilleur maximal admissible dans un champ proche ou dans un champ lointain (champ H)
Critères de protection minimaux	25 dB	15 dB μ V/m	-36,5 dB μ A/m

FIGURE A1-1

Critères de protection de la courbe de sélectivité des fréquences MSF et des signaux WWVB pour les services de fréquences étalon et de signaux horaires

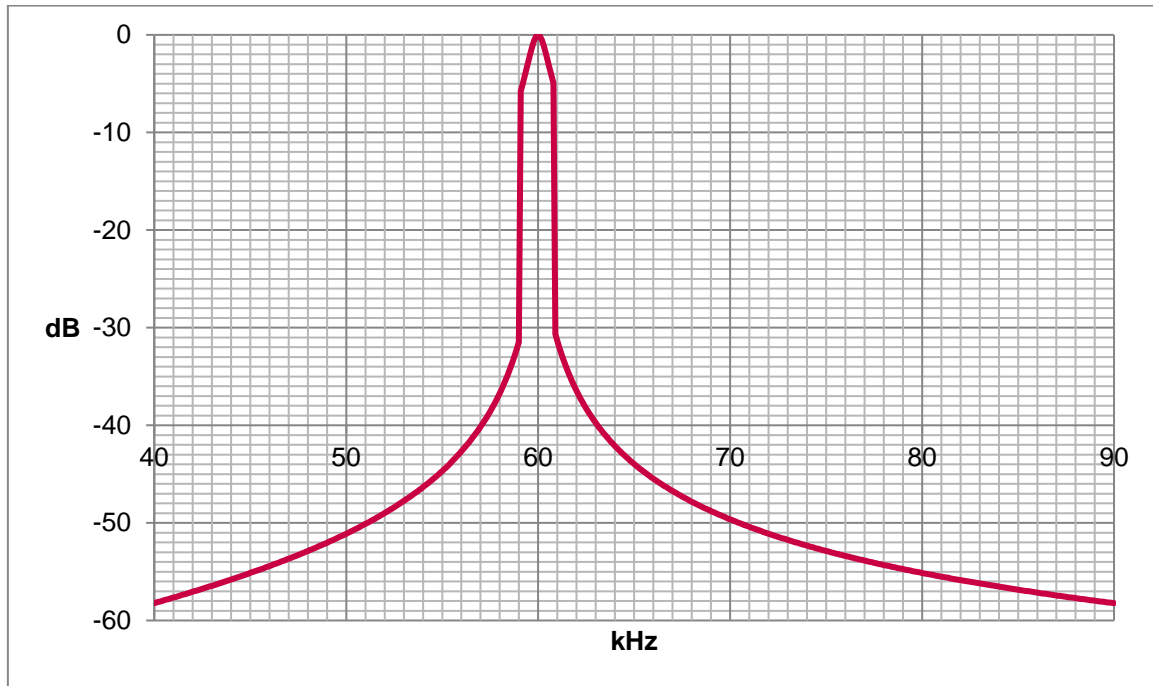


TABLEAU A1-8

Rapports de protection minimaux pour les ondes JJY

Gamme de fréquences de la fréquence fondamentale	Critères de protection	Commentaires
10-79 kHz	La limite d'émissions rayonnées pour le dispositif WPT-EV est de 23,1 dB μ A/m mesurée à une distance de 10 mètres. ^{*1)} Tout utilisateur de dispositif WPT-EV doit faire une demande individuelle auprès du Ministère des affaires intérieures et des communications et ne l'utiliser qu'après avoir obtenu une autorisation.	Son utilisation n'est pas autorisée à des fréquences de 40 kHz et 60 kHz en cas d'exploitation de services de fréquences étalon et de signaux horaires (JJY)
79-90 kHz	La limite d'émissions rayonnées pour le dispositif WPT-EV (puissance de sortie maximale de 7,7 kW) est de 68,4 dB μ A/m, mesurée à une distance de 10 mètres.	Dans le manuel d'utilisation du dispositif WPT ou sur le dispositif lui-même, l'instruction suivante, ou similaire, devrait figurer: «Possibilité de brouillage électromagnétique préjudiciable pour les dispositifs d'horloge radiocommandées recevant des fréquences étalon et des signaux horaires»
90-150 kHz	La limite d'émissions rayonnées pour le dispositif WPT-EV est de 23,1 dB μ A/m mesurée à une distance de 10 mètres. ^{*1)} Tout utilisateur de dispositif WPT-EV doit faire une demande individuelle auprès du Ministère des affaires intérieures et des communications et ne l'utiliser qu'après avoir obtenu une autorisation	

*1) Ce niveau d'émission est le même que pour les «installations industrielles émettant des ondes radioélectriques» au Japon.

S'agissant des fréquences étalon et des signaux horaires, l'utilisation du système WPT pour les véhicules électriques (EV) doit être comme suit:

Les dispositifs WPT-EV ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable défini par le rapport porteuse/brouillage obtenu avec la sensibilité minimale du récepteur des horloges radiocommandées dans les situations d'utilisation convenues. Une distance de séparation de 10 m a été utilisée comme critère de coexistence. Des mesures supplémentaires visant à éviter le chevauchement des horaires de fonctionnement des dispositifs WPT et des horloges radiocommandées, et concernant la variation de la direction de propagation des ondes radioélectriques, et relatives aux possibilités d'amélioration de la performance, ont été examinées.

Utilisation des systèmes WPT-EV

Ces stations de services de fréquences étalon et de signaux horaires assurent un service précieux dans la mesure où elles fournissent le temps atomique précis et exact à trois continents. Elles sont souvent utilisées pour fournir un étalon de temps dans les observatoires astronomiques. Outre les utilisations scientifiques de ces signaux, les récepteurs de ces stations sont très utilisés pour les usages domestiques.

Aujourd'hui, plusieurs administrations exploitent des services de fréquences étalon et de signaux horaires dans ces bandes à ondes kilométriques et seraient susceptibles d'être affectées par les transmissions sans fil (WPT). Les zones de couvertures de certaines de ces transmissions par ondes kilométriques sont illustrées dans les Fig. A1-2 à A1-6 ci-après. Les niveaux de signaux dans les zones rouges excèdent $100 \mu\text{V}/\text{m}$. À l'intérieur de ces zones rouges, des dizaines de millions de dispositifs utilisent ces transmissions pour transmettre l'heure, parmi lesquels des horloges radiocommandées, des montres-bracelets et autres dispositifs dont beaucoup visent à suivre l'heure légale.

FIGURE A1-2

Station radioélectrique DCF77 fonctionnant à 77,5 kHz

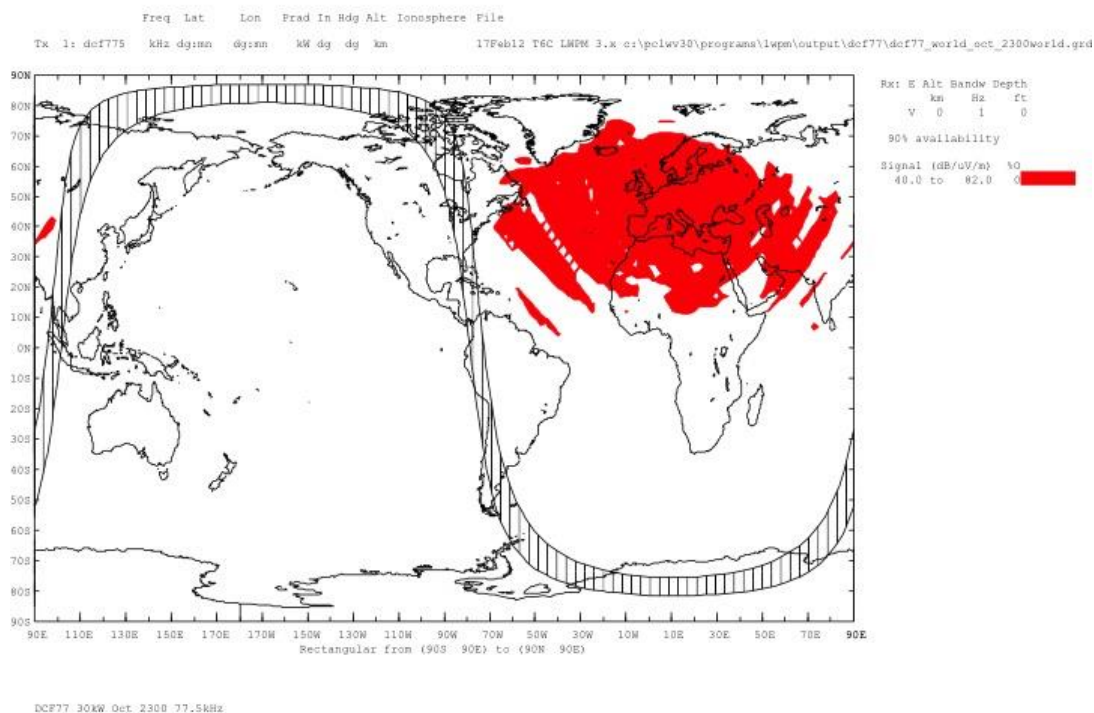


FIGURE A1-3
 Station radioélectrique JJY fonctionnant à 40 kHz

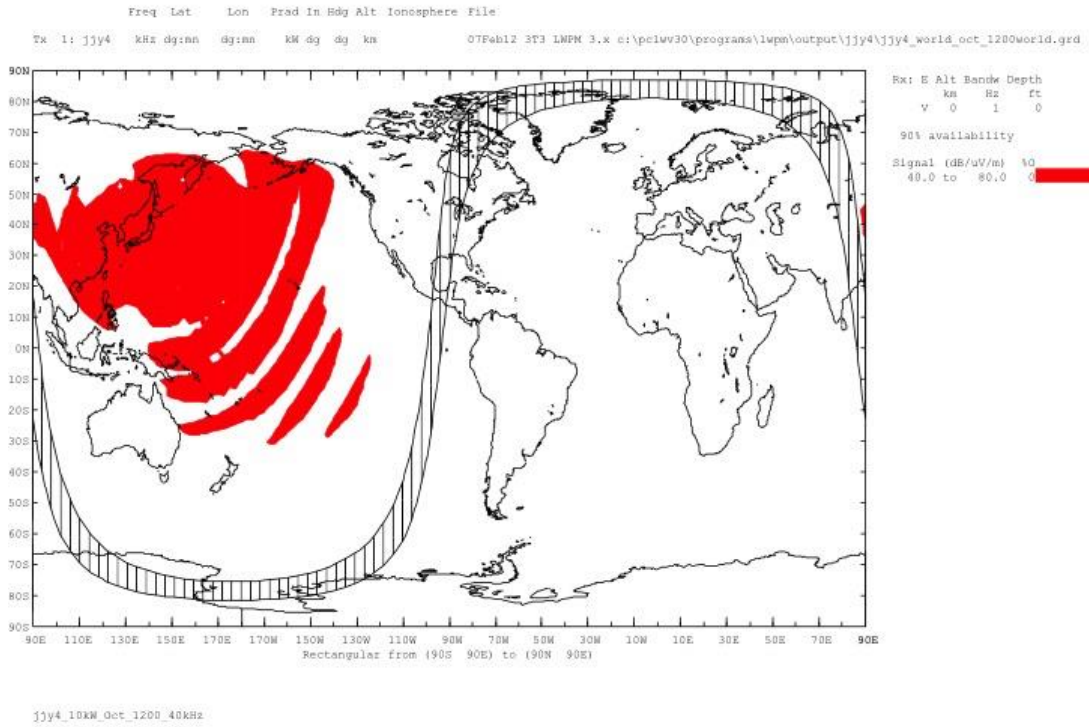


FIGURE A1-4
 Station radioélectrique JJY fonctionnant à 60 kHz

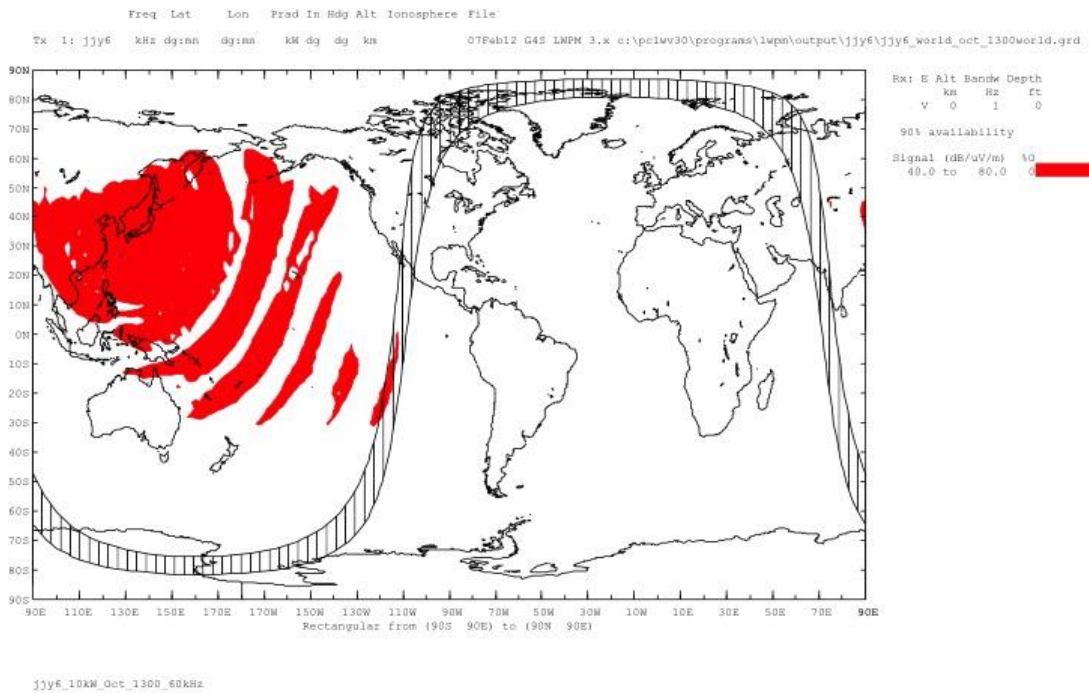


FIGURE A1-5

Station radioélectrique MSF fonctionnant à 60 kHz

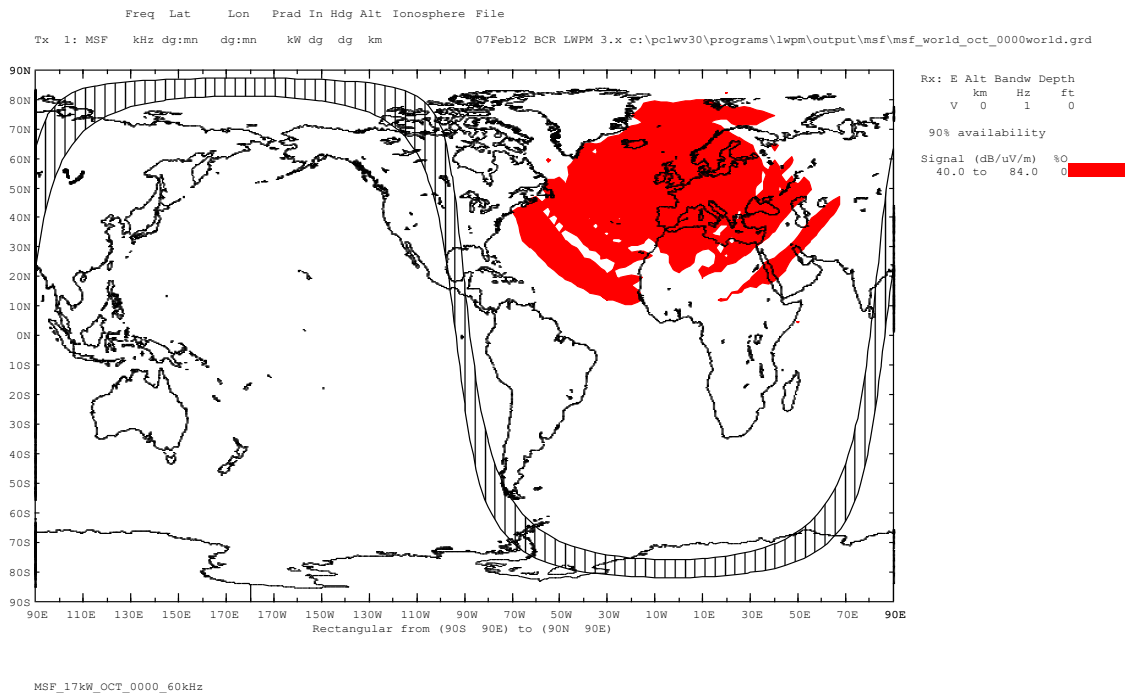
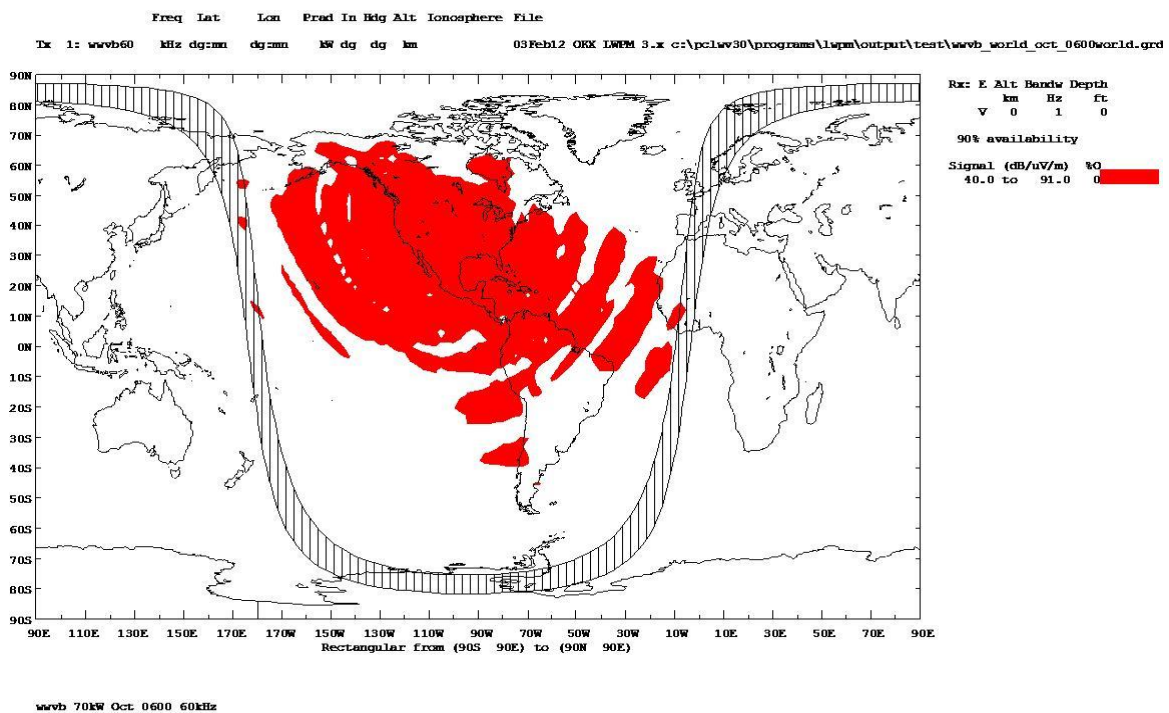


FIGURE A1-6

Station radioélectrique WWVB fonctionnant à 60 kHz



A1.4 Service de radiodiffusion sonore

Les systèmes WPT-EV devraient produire des harmoniques dans les bandes de fréquences 148,5-283,5 kHz, 525-1 705 kHz et 2 300-26 100 kHz et risquent de perturber la réception de la radiodiffusion sonore à ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques. Les publications suivantes de l'UIT-R (Recommandations, Rapports, Accords de planification) présentent un intérêt pour les études d'impacts.

TABLEAU A1-9

Caractéristiques techniques du service de radiodiffusion sonore

Bandes de fréquences	Document	Titre	Sections pertinentes
Ondes kilométriques, hectométriques, décimétriques	UIT-R BS.703	Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification	Toutes
Ondes kilométriques, hectométriques, décimétriques	UIT-R BS.560	Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion à ondes kilométriques, hectométriques et décimétriques	Toutes
Toutes	UIT-R BS./ BT.1895	Critères de protection applicables aux systèmes de radiodiffusion de Terre	Toutes
	UIT-R BS.216-2	Rapport de protection pour la radiodiffusion sonore dans la zone tropicale	Toutes
Ondes kilométriques, hectométriques	UIT-R BS.415-2	Spécifications des caractéristiques minimales des récepteurs de radiodiffusion sonore à prix modique	2 & 3
Ondes kilométriques, hectométriques, décimétriques	UIT-R BS.559-2	Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion à ondes kilométriques, hectométriques et décimétriques	Toutes
Ondes hectométriques	UIT-R BS.598-1	Facteurs influençant la couverture en radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude dans la bande 6 (ondes hectométriques)	Toutes
Toutes	UIT-R P.273-13	Bruit radioélectrique	
Toutes	UIT-R SM.2303	Transmission d'énergie sans fil au moyen de techniques autres que la transmission par faisceau radiofréquence	§ 7.2.1 et Annexe 6
Ondes kilométriques, hectométriques	Accord GE75	Plan d'assignation de fréquences pour la radiodiffusion à ondes hectométriques dans les Régions 1 et 3 et à ondes kilométriques dans la Région 1 (Genève 1975)	Toutes
Ondes hectométriques	Accord RJ81	Plan d'assignation de fréquences pour la radiodiffusion à ondes hectométriques dans la Région 2(Rio de Janeiro 1981)	Toutes
Ondes hectométriques	Accord RJ88	Plan d'assignation de fréquences pour la radiodiffusion à ondes hectométriques dans la Région 2(Rio de Janeiro 1988)	Toutes

On trouvera dans l'Annexe 8, des renseignements sur la situation actuelle des émetteurs de radiodiffusion dans les bandes des ondes kilométriques et des ondes hectométriques.

Les critères de protection pour les services de radiodiffusion sonore à ondes kilométriques, à ondes hectométriques et à ondes décimétriques figurent dans le Tableau 6 (fonctionnement hors grille) et dans le Tableau 7 (fonctionnement sur grille) au § 4.4.

A1.5 Service météorologique

Les systèmes WPT-EV risquent d'avoir un impact sur les réseaux de détection de la foudre fonctionnant dans la gamme de fréquences de 20-350 kHz, qui doivent donc être protégés.

Annexe 2

Exemples de niveau d'émissions pour les systèmes WPT-EV

On trouvera dans la présente Annexe des informations détaillées sur les mesures des niveaux d'émissions utilisés pour les systèmes WPT-EV à titre d'exemple, sur un échantillon très limité d'équipements. Il convient de noter qu'une partie de ce matériel peut être un équipement de préproduction.

A2.1 WPT-EV exploité dans les bandes de fréquences 19-21 kHz/55-65 kHz

Des mesures ont été réalisées sur un système WPT-EV pour bus électriques dans la ville de Gumi en Corée. Le système fonctionne avec une fréquence fondamentale située dans la gamme de fréquences de 19-21 kHz et sa troisième harmonique se situe dans la gamme de fréquences 55-65 kHz, laquelle est utilisée en partie pour la transmission d'énergie. Le Tableau A2-1 ci-après illustre les mesures d'émissions effectuées.

TABLEAU A2-1

Mesures des niveaux d'émissions d'un système WPT-EV pour bus utilisé dans les études d'impact

Services et systèmes de radiocommunication	Bandes de fréquences	Résultats des essais (dB μ A/m) à 10 m
Fréquences étalon et signaux horaires	19,95-20,05 kHz (20 kHz, Mondial)	85,30 (20,28 kHz)
	39-41 kHz (40 kHz, Japon)	22,02 (39,31 kHz)
	49,25-50,75 kHz (50 kHz, Russie)	17,29 (49,66 kHz)
	59-61 kHz (60 kHz, Royaume-Uni, États-Unis et Japon)	34,18 (60,23 kHz)
	65,85-67,35 kHz (66,6 kHz, Russie)	21,88 (65,87 kHz)
	68,25-68,75 kHz (68,5 kHz, Chine)	21,55 (68,69 kHz)
	77,25-77,75 kHz (77,5 kHz, Allemagne)	19,45 (77,62 kHz)
	99,75-102,5 kHz (100 kHz, Chine)	26,73 (100,2 kHz)
	157,5-166,5 kHz (162 kHz, France)	-5,8 (166 kHz)
Contrôle des ondulations	128,6-129,6 kHz (129,1 kHz, Europe)	9,554 (129,3 kHz)
	138,5-139,5 kHz (139 kHz, Europe)	6,886 (138,7 kHz)

TABLEAU A2-1 (*fin*)

Services et systèmes de radiocommunication	Bandes de fréquences		Résultats des essais (dB μ A/m) à 10 m
Système d'avertissement automatique de protection des trains	Systèmes d'arrêt automatique des trains (ATS)	10-250 kHz (Japon)	85,30 (20,28 kHz)
		425-524 kHz (Japon)	-10,1 (441 kHz)
	Systèmes radioélectriques par induction pour les trains (ITRS)	100-250 kHz (Japon)	26,73 (100,2 kHz)
		80 kHz, 92 kHz (Japon, un seul trajet)	15,8 (79,97 kHz) 14,77 (92,19 kHz)
Radio d'amateur	135,7-137,8 kHz		4,659 (136,6 kHz)
	472-479 kHz		-10,6 (476 kHz)
Radio maritime	90-110 kHz (LORAN)		26,73 (100,2 kHz)
	424 kHz, 490 kHz, 518 kHz (NAVTEX)		-10,7 (423 kHz) -10,8 (488 kHz) -11,3 (518 kHz)
	495-505 kHz (NAVDAT)		-11,5 (500 kHz)
Radiodiffusion en modulation d'amplitude	148,5-283,5 kHz (Région 1)		-5 (148,5 kHz)
	525-526,5 kHz (Région 2)		-11 (525-526,5 kHz)
	526,5-1 606,5 kHz (Mondial)		-10,1 (548 kHz)
	1 605,5-1 705 kHz (Région 2)		-13,2 (1646 kHz)

A2.2 Système WPT-EV fonctionnant dans une gamme de fréquences de 79-90 kHz

On a mesuré les émissions rayonnées d'un système WPT-EV utilisant une bande de fréquences de 85 kHz sur la période de 2011 à 2014. Les informations détaillées concernant l'équipement WPT, la méthode de mesure utilisée et les données mesurées figurent dans l'Annexe 3; Rapport UIT-R SM.2303. Le Tableau A2-2 illustre les niveaux d'émissions mesurées du système WPT-EV utilisant la bande de 85 kHz. Les niveaux d'émissions rayonnées sont décrits pour chaque gamme de fréquences des services et des systèmes de radiocommunications concernés. Pour certaines de ces gammes de fréquences, les niveaux d'émissions rayonnées sont inférieurs au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure et pour lequel la résolution de la bande de fréquences est ajustée de manière à ne pas représenter le bruit de fond.

Les émissions mesurées d'un système WPT utilisant des fréquences de 85 kHz sont décrites dans les Figs. A2-2 et A2-3. La Fig. A2-1 illustre la configuration de la bobine émettrice et de la bobine réceptrice du système WPT. L'équipement WPT est différent de l'équipement mesuré dans l'Annexe 3 ci-dessus, Rapport UIT-R SM.2303. Dans le Tableau A2-2; et dans les Figs. A2-2 et A2-3, le niveau d'émissions rayonnées dans la région de rayonnements non essentiels est inférieur ou égal à -40 dB par rapport au niveau d'émission de la fréquence du système WPT.

TABLEAU A2-2

**Mesures des niveaux d'émissions d'un système WPT-EV de 3 kW
utilisant une bande de 85 kHz**

Services et systèmes de radiocommunication		Bandes de fréquences	Résultats des essais (dB μ A/m) at 10 m
Fréquences étalon et signaux horaires		19,95-20,05 kHz (20 kHz, Mondial) 39-41 kHz (40 kHz, Japon) 49,25-50,75 kHz (50 kHz, Russie) 59-61 kHz (60 kHz, Royaume-Uni, États-Unis et Japon) 65,85-67,35 kHz (66,6 kHz, Russie) 68,25-68,75 kHz (68,5 kHz, Chine) 77,25-77,75 kHz (77,5 kHz, Allemagne) 99,75-102,5 kHz (100 kHz, Chine) 157,5-166,5 kHz (162 kHz, France)	Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -15) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -23) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -25) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -27) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -27) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -25) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -30) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -33) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -18)
Contrôle d'ondulation		128,6-129,6 kHz (129,1 kHz, Europe) 138,5-139,5 kHz (139 kHz, Europe)	Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -33) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -34)
Système d'avertissement automatique de protection des trains	Systèmes d'arrêt automatique des trains (ATS)	10-250 kHz (Japon)	71,3 (85,1 kHz; fréquence du système WPT) 14,4 (176,2 kHz; 2 ^{ème} harmonique) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (Autre bande de fréquences)
	Systèmes radioélectriques par induction pour les trains (ITRS)	100-250 kHz (Japon)	14,4 (176,2 kHz; 2 ^{ème} harmonique)
		80 kHz, 92 kHz (Japon, un seul trajet)	71,3 (85,1 kHz; fréquence du système WPT)
Radio d'amateur		135,7-137,8 kHz 472-479 kHz	Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -33) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -28)

TABLEAU A2-2 (*fin*)

Services et systèmes de radiocommunication	Bandes de fréquences	Résultats des essais (dB μ A/m) at 10 m
Radio maritime	90-110 kHz (LORAN)	Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -33)
	424 kHz, 490 kHz, 518 kHz (NAVTEX)	-11,8 (425,5 kHz; 5 ^{ème} harmonique) Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (Autre bande de fréquences)
	495-505 kHz (NAVDAT)	Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (< -28)
Radiodiffusion en modulation d'amplitude	148,5-283,5 kHz (Région 1), 525-526,5 kHz (Région 2) 526,5-1 606,5 kHz (Mondial) 1 605,5-1 705 kHz (Région 2)	14,4 (176,2 kHz; 2 ^{ème} harmonique) -15,6 (595,7 kHz; 7 ^{ème} harmonique) * Impossible de détecter plus que la 8 ^{ème} harmonique. Inférieur au niveau de bruit du récepteur utilisé pour la mesure (Autre bande de fréquences)

FIGURE A2-1

Configuration des bobines émettrice et réceptrice du système WPT

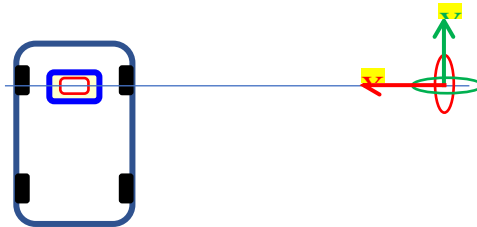


FIGURE A2-2

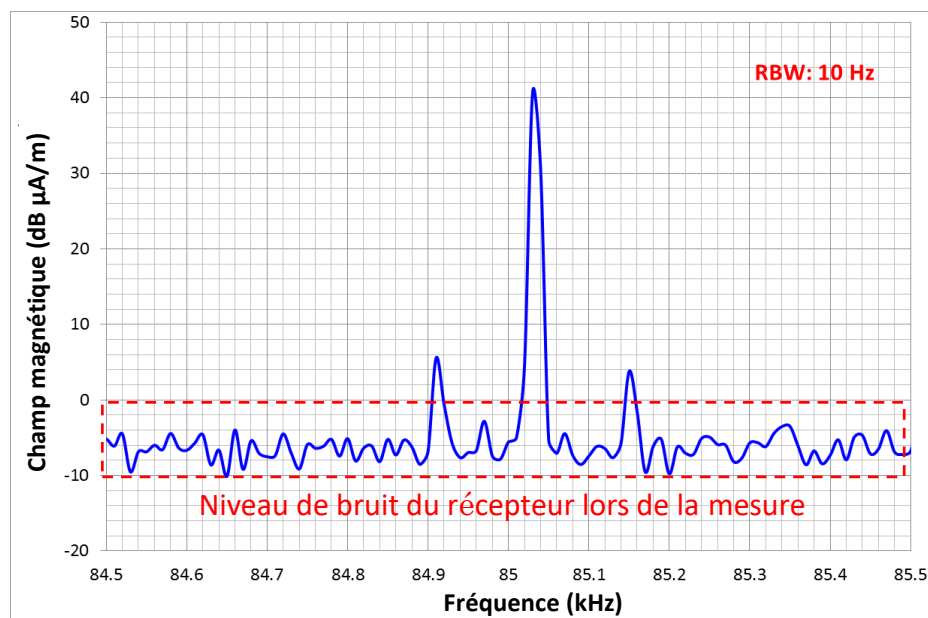
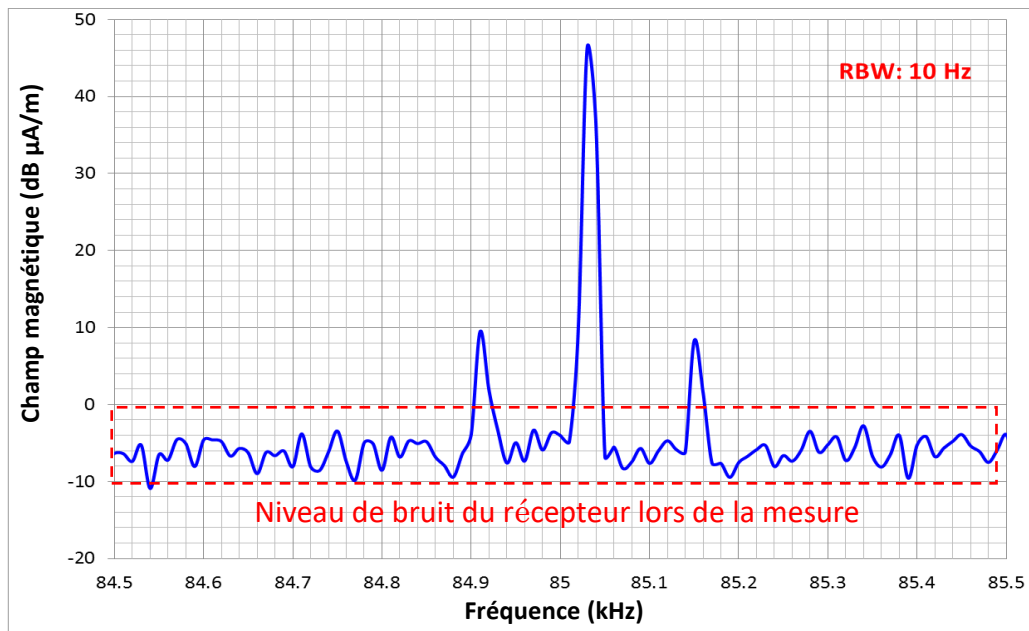
Mesure des émissions d'un système WPT utilisant des fréquences de 85 kHz
(Sens de l'antenne-cadre: X)

FIGURE A2-3

Mesure des émissions d'un système WPT utilisant des fréquences de 85 kHz
(Sens de l'antenne-cadre: Y)



Annexe 3

Limites d'émission proposées par les organisations de normalisation pour les systèmes WPT-EV

A3.1 Projet de limites proposées par le CISPR

Au cours de l'année 2017, les travaux du Sous-Comité B du CISPR visaient à élaborer des limites pour les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV. Ces travaux ont abouti à l'examen des révisions de la norme CISPR 11 Ed. 6 figurant dans le projet du Comité pour le document de vote CISPR/B687/CDV: «Équipement industriel, scientifique et médical – Caractéristiques de perturbation radioélectriques – Limites et méthodes de mesure « Prescriptions pour la transmission d'énergie sans fil à entrefer». Cette révision a été rejetée par le vote en décembre 2017. Une nouvelle révision de la norme CISPR 11 est actuellement à l'examen. Le projet du Comité a été élaboré en avril 2019 au cours d'une réunion portant sur la norme AHG4, et sera diffusé sous forme d'un projet du comité pour vote au printemps 2019. Le résultat du vote sera publié à la fin de l'année 2019. Les modifications des limites examinées dans le cadre du CISPR/B/710/CD portent sur les points suivants:

- La distance de mesure sélectionnée est uniquement de 10 m depuis le volume de l'équipement à l'essai en vue d'assurer une plage de mesure plus dynamique et d'éviter toute incompatibilité due à une mesure effectuée dans la plage de transition entre le champ lointain et le champ proche.
- Les classes de sous-puissances pour la Classe B ont été simplifiées à «(≤ 1 kW)» et «(> 1 kW)», et les valeurs limites des fréquences fondamentales du système WPT pour la sous-classe > 1 kW dans la gamme de fréquences de 79-90 kHz sont limitées à 67,8 dBµA/m.

- Les valeurs limites pour les gammes d'harmoniques sont reconsidérées en révisant le calcul à l'aide de la norme CISPR TR16-4-4 comme suit:
 - 150 kHz – 5,62 MHz: 14,5 dB μ A/m décroissant linéairement en fonction du logarithme de la fréquence jusqu'à -10 dB μ A/m;
 - 5,62-30 MHz: -10 dB μ A/m.

Les limites à l'examen par le Sous-Comité B du CISPR lors de la publication du présent Rapport UIT ont été utilisées dans certaines études d'impact et figurent dans les Tableaux A3-1 et A3-2.

TABLEAU A3-1

Limites des perturbations dues aux rayonnements électromagnétiques applicables aux équipements WPT du groupe 2 de la Classe B utilisés pour des véhicules électriques, mesurées sur un site d'essai

Gamme de fréquences (kHz)	Limites pour une distance de mesure $D = 10$ m	
	Classe B (≤ 1 kW) ^a	Classe B (> 1 kW) ^a
	Valeur de quasi-crête du champ magnétique (dB(μ A/m))	Valeur de quasi-crête du champ magnétique (dB(μ A/m))
9-19	27-23,8	27-23,8
19-25	57	72
25-36	22,6-21,1	22,6-21,1
36-40 ^b	56,2	71,2
40-55	20,6-19,3	20,6-19,3
55-65 ^b	54,4	69,4
65-79	18,6-17,7	18,6-17,7
79-90	52,8	67,8 ^c
90-150	17,2-15	17,2-15

À la fréquence de transition, la limite la plus stricte s'applique. Lorsque la limite varie avec la fréquence, elle décroît proportionnellement au logarithme de la fréquence croissante.

Sur un site d'essai, l'équipement de classe B doit être mesuré à une distance nominale de 10 m.

Les autorités nationales peuvent, en plus, demander la suppression des rayonnements dans des bandes de fréquences spécifiques utilisées par des services de radiocommunication sensibles fonctionnant dans des installations désignées, par exemple en imposant les limites du Tableau E.2.

^a Le choix de l'ensemble approprié des limites doit se fonder sur la puissance nominale (en courant alternatif) déclarée par le fabricant.

^b Dans certains pays, ces bandes ne sont pas disponibles.

^c Dans les cas où ils ne respectent pas la limite fixée pour la puissance nominale (en courant alternatif) de > 1 kW spécifiée dans le présent tableau, les systèmes WPT fonctionnant avec une puissance nominale (en courant alternatif) de $> 3,6$ kW, devront au moins se conformer à la limite assouplie de 15 dB. Dans ce cas, les manuels d'utilisation et d'instruction à l'intention de l'utilisateur devront mentionner la mise en garde ci-après:

Attention: Le présent équipement n'est pas conçu pour être utilisé dans des environnements dans lesquels des dispositifs sensibles et/ou des dispositifs de radiocommunications comme des dispositifs à courte portée utilisés dans les applications de signalisation ferroviaire sont exploités à une distance de moins de 10 m de l'équipement. Dans de telles circonstances, il risque de ne pas garantir la protection requise pour la réception des radiocommunications.

TABLEAU A3-2

Limites des perturbations dues aux rayonnements électromagnétiques applicables aux équipements WPT du groupe 2 de la Classe B mesurées sur un site d'essai

Gamme de fréquences (MHz)	Limites pour une distance de mesure D = 10 m
	Valeur de quasi-crête du champ magnétique (dB(μA/m))
0,15-5,62	14,5 décroissant linéairement en fonction du logarithme de la croissance jusqu'à -10
5,62-30	-10

Annexe 4

Études d'impact sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires

A4.1 Étude d'impact sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires de 60 kHz

On trouvera dans la présente annexe l'étude d'impact du système WPT-EV sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires exploités dans la gamme de fréquences de 55-65 kHz.

A4.1.1 Critères de protection de référence pour le Service de fréquences étalon et de signaux horaires

Dans la présente étude, on utilise le champ minimal utilisable de 100 μV/m (40 dBμV/m), fourni dans l'Annexe 1. Le Tableau A4-1 précise les champs électriques et magnétiques minimaux. Il y a lieu de noter que ceux-ci se situent dans le champ lointain des transmissions sur le Service de fréquences étalon et de signaux horaires mais qu'ils se situeront généralement dans le champ proche des sources WPT car la longueur d'ondes au niveau de la fréquence fondamentale de 60 kHz est de 5 000 m.

TABLEAU A4-1

Champ lointain minimal utilisable comme valeur de référence pour le Service de fréquences étalon et de signaux horaires

	Champ minimal utilisable
Champ électrique (dBμV/m)	40
Champ magnétique (dBμA/m)	-11,50

A4.1.1.1 Critères de protection pour le Service de fréquences étalon et de signaux horaires

Les critères de protection pour le Service de fréquences étalon et de signaux horaires sont énoncés dans l'Annexe 1 dans laquelle figurent également un rapport de protection de + 25 dB et la courbe de sélectivité du récepteur.

Les mesures ont été effectuées au Royaume-Uni sur un récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires de 60 kHz afin de vérifier les hypothèses théoriques précédentes concernant les prescriptions relatives à la protection des fréquences étalon et de signaux horaires. En se fondant sur ces mesures, on a utilisé un critère de protection de +24 dB dans la présente étude (voir Tableau A4-2), en notant qu'il s'agissait d'un critère de protection assoupli de 1 dB de plus que les critères énoncés dans l'Annexe 1.

TABLEAU A4-2

**Critère de protection, sur la même fréquence, utilisé dans la présente étude³
pour les fréquences étalon et les signaux horaires**

	Rapport de protection	Signal brouilleur maximal admissible dans le champ proche ou le champ lointain (Champ E)	Signal brouilleur maximal admissible dans le champ proche ou le champ lointain (Champ H)
Critère de protection utilisé dans la présente étude	24 dB	16 dB μ V/m	-35,5 dB μ A/m

³ Il convient de noter que 60 kHz est une longueur d'onde de signal radioélectrique de 5 000 m.

TABLEAU A4-3

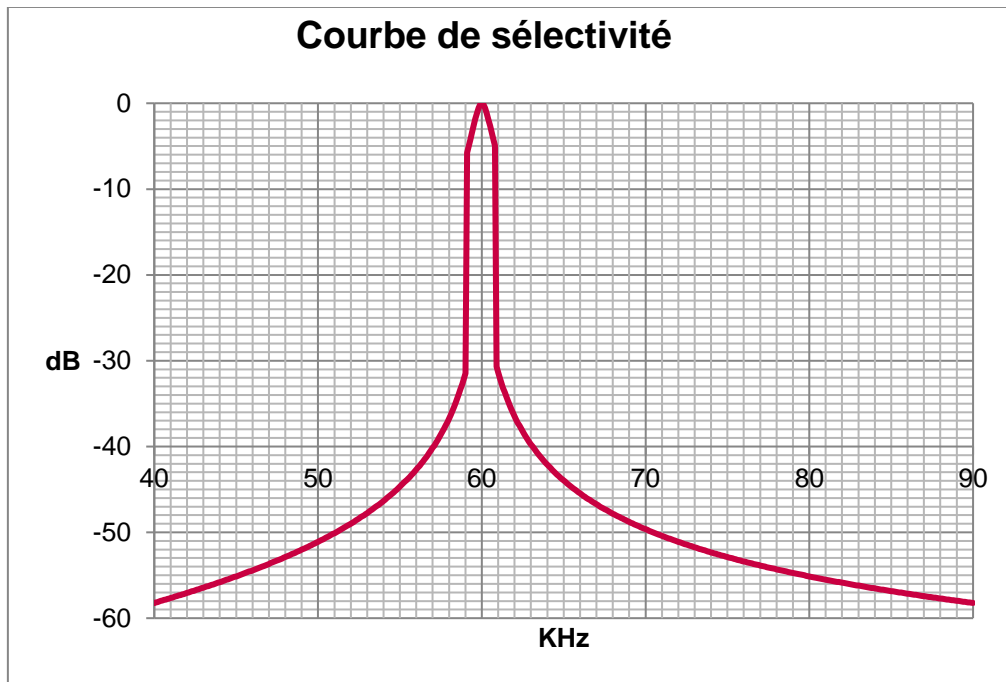
**Critère de protection, sur les fréquences adjacentes, utilisé dans la présente étude
pour les fréquences étalon et les signaux horaires**

Séparation/ décalage de fréquence (kHz)	Sélectivité relative (dB)	Critères de protection fondés sur les mesures		
		Rapport de protection de base de fréquences étalon et des signaux horaires (dB)	Signal brouilleur maximal admissible (dB μ V/m) au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires	Signal brouilleur maximal admissible (dB μ A/m) au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaire
Critères de protection pour une modulation par tout ou rien de 100%				
-10	-51,1	-27,1	67,1	15,6
-9	-50,1	-26,1	66,1	14,6
-8	-48,99	-24,99	64,99	13,49
-7	-47,74	-23,74	63,74	12,24
-6	-46,33	-22,33	62,33	10,83
-5	-44,68	-20,68	60,68	9,18
-4	-42,69	-18,69	58,69	7,19
-3	-40,17	-16,17	56,17	4,67
-2	-36,74	-12,74	52,74	1,24
-1	-31,45	-7,45	47,45	-4,05
Critères de protection pour une modulation par tout ou rien de 100%				
1	-31,34	-7,34	47,34	-4,16
2	-36,47	-12,47	52,47	0,97
3	-39,75	-15,75	55,75	4,25
4	-42,12	-18,12	58,12	6,62
5	-43,96	-19,96	59,96	8,46
6	-45,46	-21,46	61,46	9,96
7	-46,73	-22,73	62,73	11,23
8	-47,82	-23,82	63,82	12,32
9	-48,78	-24,78	64,78	13,28
10	-49,64	-25,64	65,64	14,14

La sélectivité du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires est déterminée par l'antenne à tige de ferrite (valeur Q) et par le filtre à quartz à bande étroite. Si le filtre à quartz est placé après le premier préamplificateur, alors des signaux particulièrement forts peuvent surcharger ce préamplificateur. Toutefois, la surcharge ne fait pas l'objet d'un examen dans le cadre de la présente étude, et seule la sélectivité globale est examinée.

FIGURE A4-1

Courbe de sélectivité du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires



A4.1.2 Bruit de fond

La Recommandation UIT-R P.372-13 fournit des informations sur les niveaux de fond du bruit radioélectrique. C'est en général le bruit atmosphérique qui domine dans le pire des cas, et qui est étroitement associé à des activités comme les orages/les éclairs, et de ce fait, dans les différentes zones géographiques du monde les niveaux peuvent être en moyenne fortement inférieurs à ceux qui prévalent dans d'autres régions. Le Royaume-Uni se situe dans une zone tempérée dans laquelle les niveaux d'activités orageuses sont relativement faibles dans l'année.

Le niveau spécifié dans la Recommandation UIT-R P.372, pendant 99,5% du temps est un signal de bruit de fond qui se situe aux alentours de $-13 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ($-64 \text{ dB}\mu\text{A/m}$). Cette valeur est bien inférieure aux niveaux maximaux admissibles pour les signaux brouilleurs spécifiés dans les critères de protection. Cela laisse une bonne marge aux utilisateurs de signaux pour positionner leurs récepteurs en tenant compte de l'affaiblissement dû au couplage en vue de leur orientation et de l'affaiblissement de pénétration dans les bâtiments, et offrent également la possibilité aux fabricants de mettre en œuvre des techniques rentables lors de la conception.

A4.1.3 Scénarios d'utilisation de systèmes WPT-EV à 55-65 kHz

L'utilisation de la gamme de fréquences de 55-65 kHz (en conjonction avec des fréquences de 19-21 kHz comme troisième harmonique) est prévue pour les poids lourds, les camions et les bus. Les stations de recharge WPT-EV devraient à l'avenir se situer dans les dépôts et on envisage également de les placer aux feux de signalisation et aux arrêts de bus. Il a été souligné que l'utilisation des systèmes WPT-EV dans la gestion dynamique des routes était un scénario envisageable, mais il ne fait pas l'objet d'une analyse dans le cadre de la présente étude. Si l'on se réfère à l'exemple du centre de Londres et de ses zones suburbaines, les systèmes WPT-EV pourraient être utilisés à proximité d'une utilisation de fréquences étalon et de signaux horaires. Selon les estimations, les distances de séparation entre les systèmes WPT-EV et les récepteurs de fréquences étalon et de signaux horaires se situent entre 10 et 20 m pour un système WPT-EV dans la rue et entre 20 et 50 m pour un système WPT-EV placé dans un dépôt. Les systèmes WPT-EV auront également un facteur d'utilisation élevé de 100% lors de la mise en charge, ce qui signifie

que le système WPT-EV ne doit pas provoquer de brouillage dans ces distances. Le Tableau A4-4 illustre ces scénarios.

TABLEAU A4-4

**Scénarios d'utilisation et distances de séparation pour les systèmes WPT-EV
à des fréquences de 55-65 kHz**

Scénario d'utilisation	Distance de séparation des récepteurs de fréquences étalon et de signaux horaires
Système WPT-EV placé dans la rue pour des poids lourds (par exemple, à des arrêts de bus)	10-20 mètres
Système WPT-EV installé dans un dépôt, pour des poids lourds (par exemple, au dépôt/terminus de bus)	20-50 mètres

A4.1.4 Analyse d'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 55-65 kHz par rapport à la réception du service de fréquences étalon et de signaux horaires

L'analyse d'impact examine les séparations requises tant en fréquence qu'en distance entre le système WPT-EV et les fréquences étalon et les signaux horaires afin d'éviter tout brouillage préjudiciable. Cette analyse utilise les mesures énoncées à l'Annexe 2 ainsi que les limites proposées par le CISPR 11 dans l'Annexe 3. Il y a lieu de noter que les mesures sont prévues pour un type spécifique de systèmes WPT-EV fonctionnant sur une fréquence spécifique et peuvent ne pas être représentatives ou typiques de tous les systèmes WPT-EV fonctionnant dans cette bande de fréquences. Dans le cadre de cette analyse, on suppose que le même niveau mesuré s'applique à tous les différents décalages de fréquence. Il convient également de noter que plusieurs mesures différentes ont été effectuées sur des systèmes WPT-EV, lesquelles montrent des niveaux de champs supérieurs aux valeurs utilisées dans la présente étude. Dans cette dernière, on a également supposé que le dispositif WPT-EV n'émettait aucun rayonnement non désiré. Les mesures fournies indiquent, toutefois, la présence de rayonnements non désirés et de bandes latérales, et dans de tels cas il est nécessaire d'appliquer des séparations en fréquence et en distance supérieures à celles calculées dans la présente analyse.

Cette analyse applique les critères de protection énoncés aux Tableaux A4-2 et A4-3 pour calculer les séparations en fréquence et en distance. Le calcul des décalages de fréquence s'applique pour le bord des émissions rayonnées du système WPT-EV et le bord de la largeur de bande du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires. On trouvera ci-après les résultats de cette analyse.

TABLEAU A4-5

Limites et valeurs mesurées utilisées dans l'analyse

Limite proposée par le CISPR à 10 m	Niveau mesuré d'un système WPT-EV à 10 m
84,4 dB μ A/m	34,18 dB μ A/m

A4.1.4.1 Analyse d'impact sur les fréquences étalon et les signaux horaires des limites de 55-65 kHz, proposées par le CISPR pour les systèmes WPT-EV

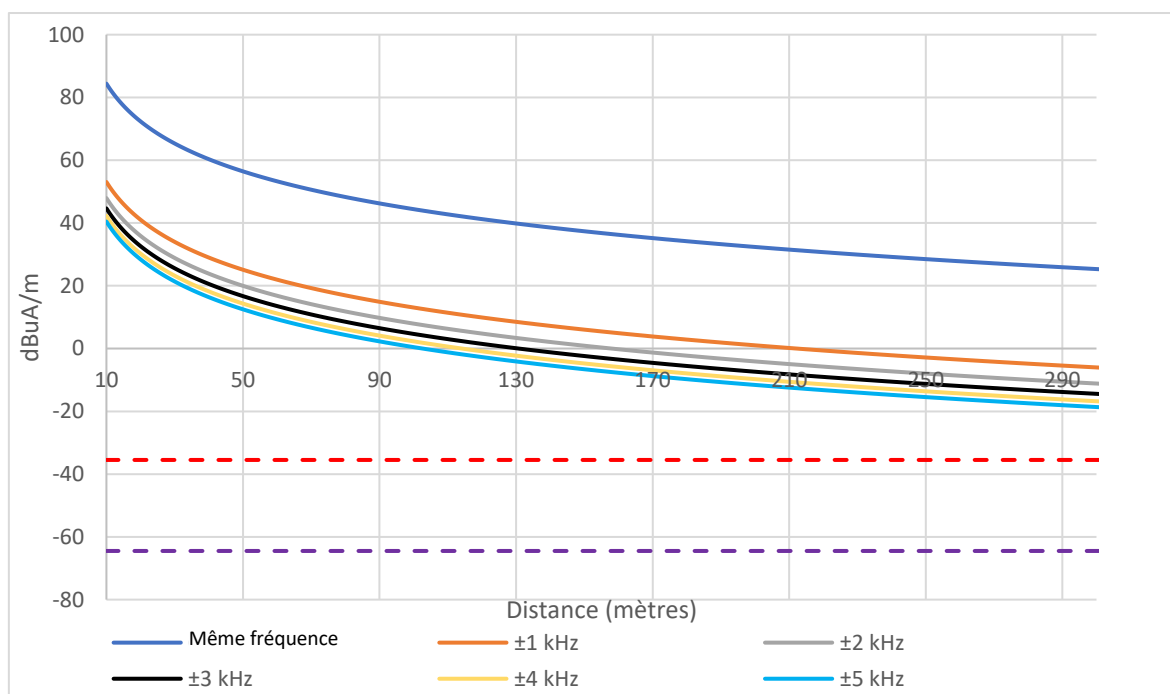
TABLEAU A4-6

Analyse des séparations en fréquence et en distance sur les limites de 55-65 kHz proposées par le CISPR pour les systèmes WPT-EV

Décalage de fréquence (kHz)	Signal brouilleur maximal admissible au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires (dB μ A/m)	Distance de séparation de 10 m		Distance de séparation de 20 m		Distance de séparation de 50 m	
		Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)
-5	9,18	84,40	-75,22	72,36	-63,18	56,44	-47,26
-4	7,19	84,40	-77,21	72,36	-65,17	56,44	-49,25
-3	4,67	84,40	-79,73	72,36	-67,69	56,44	-51,77
-2	1,24	84,40	-83,16	72,36	-71,12	56,44	-55,20
-1	-4,05	84,40	-88,45	72,36	-76,41	56,44	-60,49
Sur la même fréquence	-35,50	84,40	-11,9,90	72,36	-107,86	56,44	-91,94
1	-4,16	84,40	-88,56	72,36	-76,52	56,44	-60,60
2	0,97	84,40	-83,43	72,36	-71,39	56,44	-55,47
3	4,25	84,40	-80,15	72,36	-68,11	56,44	-52,19
4	6,62	84,40	-77,78	72,36	-65,74	56,44	-49,82
5	8,46	84,40	-75,94	72,36	-63,90	56,44	-47,98

FIGURE A4-2

Analyse des séparations en fréquence et en distance avec les limites proposées par le CISPR pour les systèmes WPT-EV sur les fréquences étalon et les signaux horaires de 60 kHz



L'analyse montre que les fréquences étalon et les signaux horaires de 60 kHz feront l'objet d'un brouillage préjudiciable de la part du système WPT-EV fonctionnant selon les limites de fréquences de 55-65 kHz proposées par le CISPR pour toutes les séparations en distance et en fréquence. En effet, avec toutes ces séparations en fréquence et en distance, on obtient une marge négative importante pour les deux scénarios d'utilisation, à savoir un système WPT-EV installé dans la rue ou un système WPT-EV placé dans un dépôt (illustrés au Tableau A4-4).

A4.1.4.2 Analyse d'impact d'un système WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 55-65 kHz sur les fréquences étalon et les signaux horaires

La présente analyse utilise les résultats des mesures figurant dans l'Annexe 2 et applique les limites de ces mesures mentionnées au § A4.4.

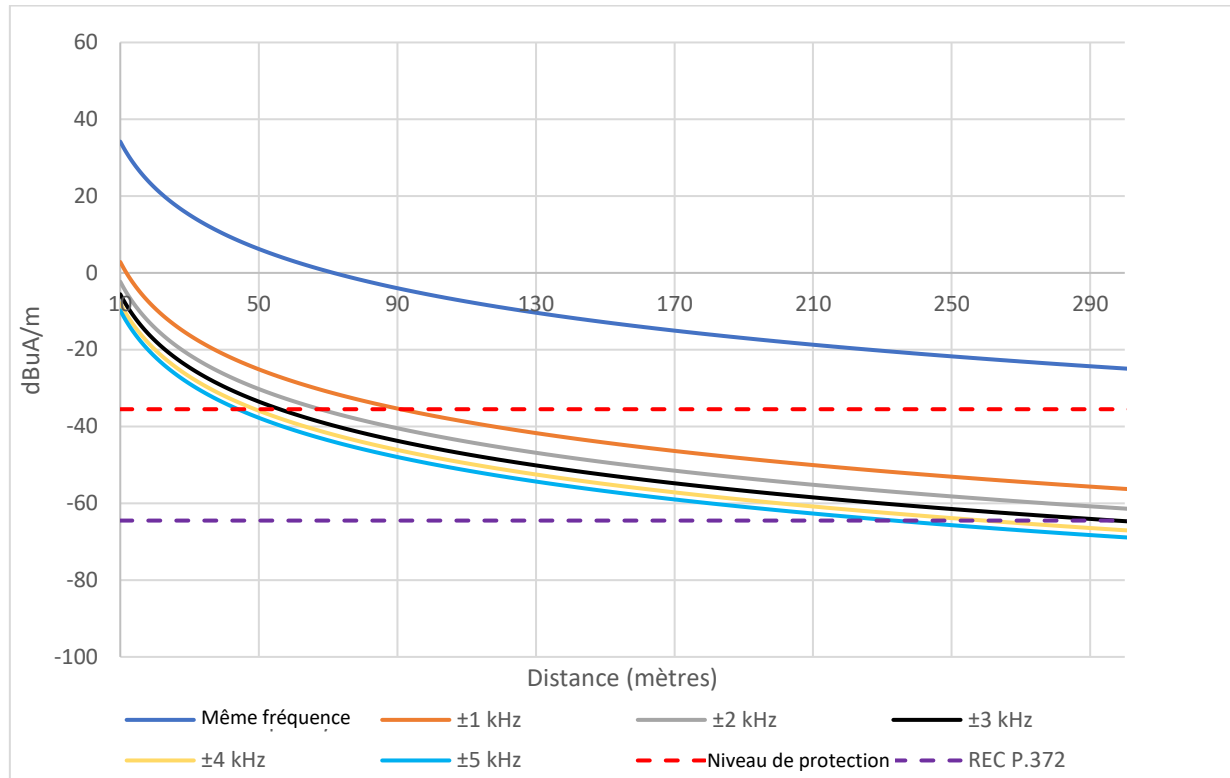
TABLEAU A4-7

Analyse des séparations en fréquence et en distance sur les systèmes WPT-EV, à des fréquences de 55-65 kHz

Décalage de fréquence (kHz)	Signal brouilleur maximal admissible au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires (dB μ A/m)	Distance de séparation de 10 m		Distance de séparation de 20 m		Distance de séparation de 50 m	
		Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)
-5	9,18	34,18	-25	22,14	-12,96	6,22	2,96
-4	7,19	34,18	-26,99	22,14	-14,95	6,22	0,97
-3	4,67	34,18	-29,51	22,14	-17,47	6,22	-1,55
-2	1,24	34,18	-32,94	22,14	-20,90	6,22	-4,98
-1	-4,05	34,18	-38,23	22,14	-26,19	6,22	-10,27
Sur la même fréquence	-35,5	34,18	-69,68	22,14	-57,64	6,22	-41,72
+1	-4,16	34,18	-38,34	22,14	-26,30	6,22	-10,38
+2	0,97	34,18	-33,21	22,14	-21,17	6,22	-5,25
+3	4,25	34,18	-29,93	22,14	-17,89	6,22	-1,97
+4	6,62	34,18	-27,56	22,14	-15,52	6,22	0,40
+5	8,46	34,18	-25,72	22,14	-13,68	6,22	2,24

FIGURE A4-3

Analyse d'impact de la séparation en fréquence et en distance sur un système WPT-EV, avec des fréquences étalon et des signaux horaires de 60 kHz



L'analyse montre que les fréquences étalon et les signaux horaires de 60 kHz feront l'objet d'un brouillage préjudiciable de la part d'un système WPT-EV fonctionnant dans une plage de fréquences de 55-65 kHz dans le scénario dans lequel le WPT-EV est installé dans la rue (illustré dans le Tableau A4-4). Toutes les séparations en distance et en fréquence donnent une marge négative élevée. S'agissant du scénario d'utilisation dans lequel le WPT-EV est placé dans un dépôt, des séparations en fréquence de 4 kHz ou plus (à savoir, de moins de 56 kHz et plus de 64 kHz) avec des séparations en distance de 50 m montrent que la coexistence est possible.

A4.1.4.3 Analyse de la sensibilité

Une analyse de la sensibilité a été effectuée pour examiner les cas dans lesquels le champ peut être supérieur au champ minimal utilisable illustré au Tableau A4-1. Le cas étudié porte sur le centre de Londres où de nombreux récepteurs de fréquences étalon et de signaux horaires sont utilisés, zone dans laquelle les systèmes WPT-EV pourraient être utilisés à l'avenir. Un calcul de base permet d'évaluer le champ reçu à Londres de l'émetteur utilisant des signaux MSF situé dans la station de transmission d'Anthorn (latitude 54° 55' N, longitude 3° 15' O), qui est illustré dans le Tableau A4-6. Il y a lieu de noter que le champ risque de surestimer le signal reçu, dans la mesure où un grand nombre de bâtiments et d'objets à Londres atténueront le signal. De nombreux récepteurs peuvent fonctionner à une valeur de champ minimal utilisable, ou à une valeur proche de celui-ci, entre des bâtiments de béton armé ou à armatures d'acier.

TABLEAU A4-8

**Champ approximatif reçu dans le centre de Londres sans affaiblissement
par pénétration dans les bâtiments, etc.**

Emplacement	Distance de l'émetteur	Champ électrique (champ E) (dB μ V/m)	Champ magnétique (champ H) (dB μ A/m)
Centre de Londres	450 km	53,87	2,37

Cette analyse utilise les résultats des mesures figurant à l'Annexe 2, et applique les limites mentionnées au § 4.

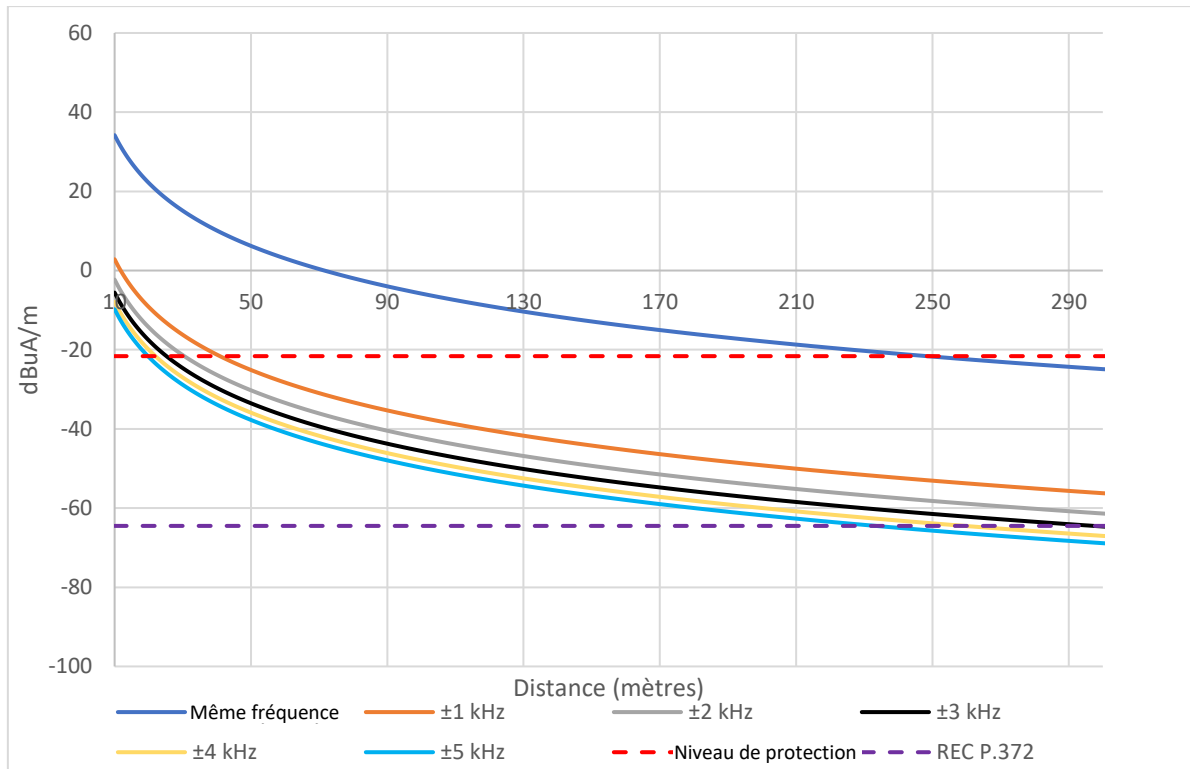
TABLEAU A4-9

**Analyse des séparations en fréquence et en distance sur les systèmes WPT-EV
à des fréquences de 55-65 kHz et utilisant des niveaux de champs estimés
supérieurs de fréquences étalon et de signaux horaires**

Décalage de fréquence (kHz)	Signal brouilleur maximal admissible au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires (dB μ A/m)	Distance de séparation de 10 m		Distance de séparation de 20 m		Distance de séparation de 50 m	
		Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)	Champ du système WPT-EV (dB μ A/m)	Marge (dB)
-5	23,05	34,18	-11,13	22,14	0,91	6,22	16,83
-4	21,06	34,18	-13,12	22,14	-1,08	6,22	14,84
-3	18,54	34,18	-15,64	22,14	-3,60	6,22	12,32
-2	15,11	34,18	-19,07	22,14	-7,03	6,22	8,89
-1	9,82	34,18	-24,36	22,14	-12,32	6,22	3,60
Sur la même fréquence	-21,63	34,18	-55,81	22,14	-43,77	6,22	-27,85
+1	9,71	34,18	-24,47	22,14	-12,43	6,22	3,49
+2	14,84	34,18	-19,34	22,14	-7,30	6,22	8,62
+3	18,12	34,18	-16,06	22,14	-4,02	6,22	11,90
+4	20,49	34,18	-13,69	22,14	-1,65	6,22	14,27
+5	22,33	34,18	-11,85	22,14	0,19	6,22	16,11

FIGURE A4-4

Analyse de la séparation en fréquence et en distance sur un système WPT-EV, avec des fréquences étalon et des signaux horaires de 60 kHz, tout en supposant qu'il existe un champ utile supérieur de fréquences étalon et de signaux horaires



Il ressort de cette analyse que pour le scénario d'utilisation du système WPT-EV installé dans la rue (illustré dans le Tableau A4-4), avec des séparations en fréquence de 5 kHz ou plus (à savoir, inférieures à 55 kHz et supérieures à 65 kHz) et une séparation en distance de 20 m, que la coexistence est possible. S'agissant du scénario d'utilisation dans lequel le système WPT-EV est installé dans un dépôt, avec des séparations en fréquence de plus de 1 kHz (à savoir, de moins de 59 kHz et de plus de 61 kHz) et des séparations en distance de 50 m, la coexistence est également possible. Il convient toutefois de noter que la présente analyse est très optimiste dans la mesure où elle prend en compte tous les meilleurs cas de figures des scénarios.

A.4.1.4.4 Brouillage cumulatif

Il se peut que de multiples stations de recharge WPT-EV fonctionnent en même temps, dans des emplacements proches les unes des autres, ce qui provoquera un brouillage cumulatif. Par exemple, jusqu'à quatre stations de recharge de bus WPT-EV, situées à des arrêts de bus ou dans des dépôts de bus, pourraient avoir jusqu'à quatre systèmes WPT-EV fonctionnant simultanément, ce qui se traduira par une augmentation de 6 dB des niveaux de brouillage. Le Tableau A4-10 et la Fig. A4-5 illustrent les résultats de cette analyse.

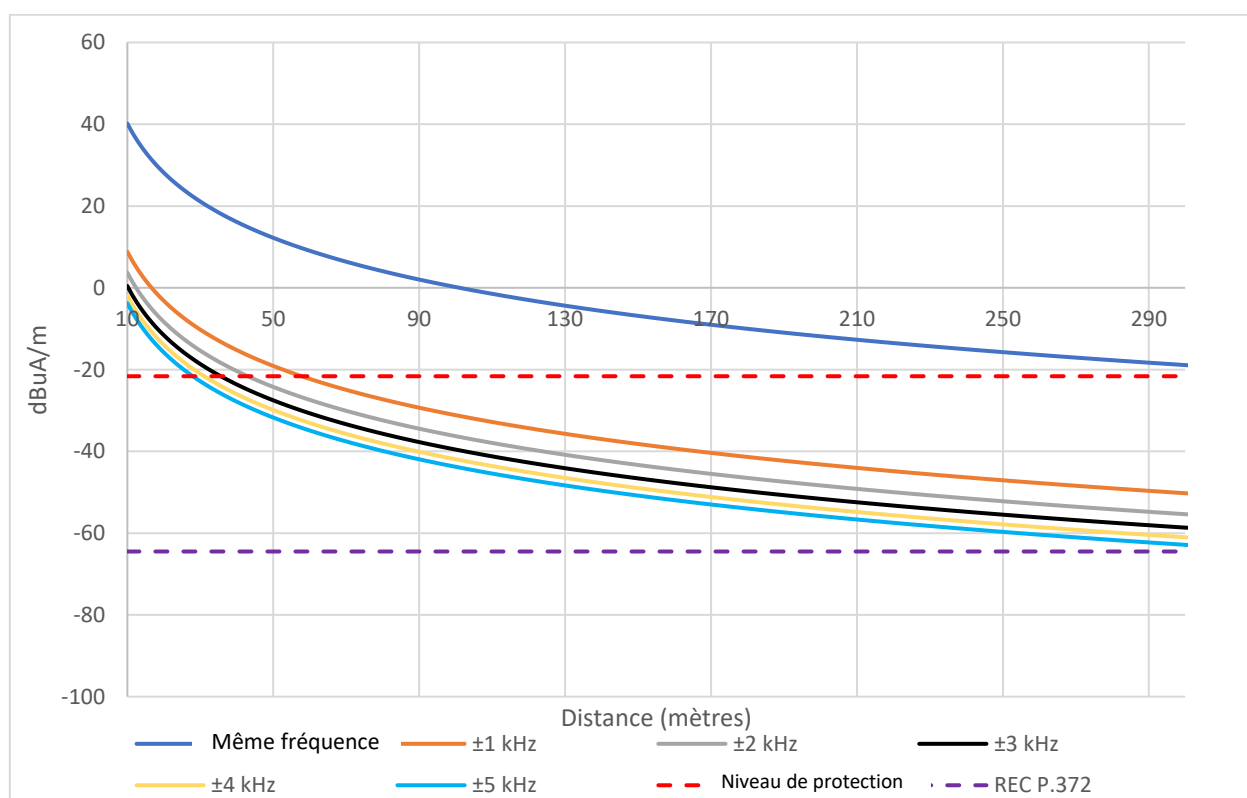
TABLEAU A4-10

Analyse des séparations en fréquence et en distance sur les systèmes WPT-EV à des fréquences de 55-65 kHz, utilisant des champs estimés supérieurs de fréquences étalon et de signaux horaires examinant la question du brouillage cumulatif

Décalage de fréquence (kHz)	Signal brouilleur maximal admissible (dBμA/m)	Distance de séparation de 10 m		Distance de séparation de 20 m		Distance de séparation de 50 m	
		Champ (dBμA/m)	Marge (dB)	Champ (dBμA/m)	Marge (dB)	Champ (dBμA/m)	Marge (dB)
-5	23,1	40,18	-17,13	28,14	-5,09	12,22	10,83
-4	21,1	40,18	-19,12	28,14	-7,08	12,22	8,84
-3	18,5	40,18	-21,64	28,14	-9,60	12,22	6,32
-2	15,1	40,18	-25,07	28,14	-13,03	12,22	2,89
-1	9,8	40,18	-30,36	28,14	-18,32	12,22	-2,40
Sur la même fréquence	-21,6	40,18	-61,81	28,14	-49,77	12,22	-33,85
+1	9,7	40,18	-30,47	28,14	-18,43	12,22	-2,51
+2	14,8	40,18	-25,34	28,14	-13,30	12,22	2,62
+3	18,1	40,18	-22,06	28,14	-10,02	12,22	5,90
+4	20,5	40,18	-19,69	28,14	-7,65	12,22	8,27
+5	22,3	40,18	-17,85	28,14	-5,81	12,22	10,11

FIGURE A4-5

Analyse des séparations en fréquence et en distance sur les systèmes WPT-EV à des fréquences étalon et des signaux horaires de 60 kHz dans l'hypothèse de l'existence d'un champ utile supérieur examinant la question du brouillage cumulatif



L'analyse montre que les fréquences étalon et les signaux horaires de 60 kHz feront l'objet d'un brouillage préjudiciable de la part d'un système WPT-EV fonctionnant dans une plage de fréquences de 55-65 kHz dans le scénario dans lequel le WPT-EV est installé dans la rue (illustré dans le Tableau A4-4). Toutes les séparations en distance et en fréquence donnent une marge négative élevée. S'agissant du scénario d'utilisation dans lequel le WPT-EV est placé dans un dépôt, des séparations en fréquence de 2 kHz ou plus (à savoir, de moins de 58 kHz et plus de 62 kHz) avec des séparations en distance de 50 m montrent que la coexistence est possible.

A.4.1.4.5 Atténuations

Il peut s'avérer nécessaire de prendre des mesures d'atténuation pour utiliser la gamme de fréquences de 55-65 kHz pour des systèmes WPT-EV, dans la mesure où de nombreux scénarios d'utilisation montrent un brouillage préjudiciable et des rayonnements non désirés, qui n'ont pas fait l'objet d'examen. Le niveau d'atténuation requis serait fonction de la séparation en fréquence et du scénario d'utilisation du système WPT-EV (à savoir, s'il est installé dans la rue ou dans un dépôt, comme illustré dans le Tableau A4-4). Cette mesure d'atténuation sera nécessaire pour garantir la protection des fréquences étalon et des signaux horaires. Les limites suggérées sont énoncées dans le Tableau A4-11 et la Fig. A4-6.

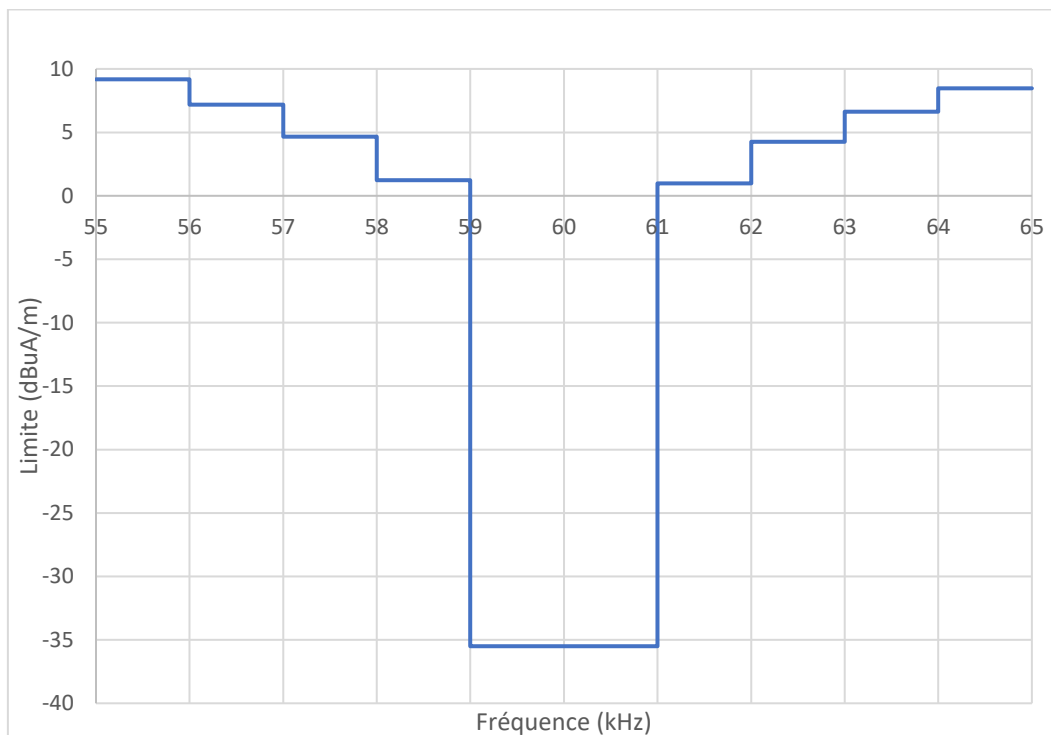
TABLEAU A4-11

**Valeurs limites pour protéger les fréquences étalon et les signaux horaires
dans le cas du fonctionnement d'un système WPT-E
à des fréquences de 55-65 kHz**

Gamme de fréquences	Limite prescrite au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires afin de garantir la protection
55 à 56 kHz	9,18 dB μ A/m à 10 m
56 à 57 kHz	7,19 dB μ A/m à 10 m
57 à 58 kHz	4,67 dB μ A/m à 10 m
58 à 59 kHz	1,24 dB μ A/m à 10 m
59 à 61 kHz	-35,5 dB μ A/m à 10 m
61 à 62 kHz	0,97 dB μ A/m à 10 m
62 à 63 kHz	4,25 dB μ A/m à 10 m
63 à 64 kHz	6,62 dB μ A/m à 10 m
64 à 65 kHz	8,46 dB μ A/m à 10 m

FIGURE A4-6

Valeurs limites pour protéger les fréquences étalon et les signaux horaires
dans le cas du fonctionnement d'un système WPT-EV
à des fréquences de 55-65 kHz



A4.1.5 Conclusions

L'utilisation de la gamme de fréquences 55-65 kHz risque de provoquer un brouillage préjudiciable des fréquences étalon et des signaux horaires sauf si des séparations spécifiques en fréquence et en distance peuvent être garanties.

Dans tous les cas de figures analysés, un système WPT-EV fonctionnant en respectant les limites proposées par le CISPR causera un brouillage préjudiciable. Pour les scénarios d'utilisation de systèmes WPT-EV installés dans la rue ou dans un dépôt (illustrés dans le Tableau 4), toutes les séparations en fréquence et en distance montrent une marge négative élevée entre -120 dB et -47 dB. Les séparations en distance requises pour protéger les fréquences étalon et les signaux horaires risquent d'être importantes, et donc peu pratiques, et les décalages de fréquence situés dans la gamme de fréquences de 55-65 kHz n'assurent pas tous une atténuation.

Dans le cadre de l'examen des mesures d'un système WPT-EV, l'analyse de référence montre qu'un système WPT-EV installé dans la rue, avec des distances de séparation de 10 à 20 mètres, provoquera un brouillage préjudiciable dans tous les cas étudiés. En ce qui concerne le scénario d'utilisation du système WPT-EV dans un dépôt, la coexistence semble possible avec des séparations de fréquences de plus de 4 kHz (par exemple, à l'extérieur 56-64 kHz) à condition que la distance de séparation soit supérieure à 50 m. Il faut noter que les mesures se fondent sur un système particulier de WPT-EV et qu'il ne s'agit peut-être pas là du cas le plus représentatif de tous les types d'équipements. Les mesures fournies dans des rapports précédents ont indiqué des niveaux supérieurs. La présente analyse n'a également pas examiné les rayonnements non désirés des systèmes WPT-EV, pour lesquels les mesures indiquent la présence de tels rayonnements non désirés et de bandes latérales.

Il ressort de la présente étude qu'avec les limites proposées par le CISPR et les scénarios d'utilisation dans la rue, les fréquences étalon et les signaux horaires feront l'objet d'un brouillage

préjudiciable. L'étude a également montré la nécessité de contrôler les rayonnements non désirés. En conséquence, pour qu'un système WPT-EV puisse fonctionner dans la gamme de fréquences de 55-65 kHz, des mesures d'atténuation importantes doivent être mises en œuvre. Ce pourrait être par le biais de limites imposées sur les champs maximaux à 10 et 50 m, en fonction du scénario d'utilisation.

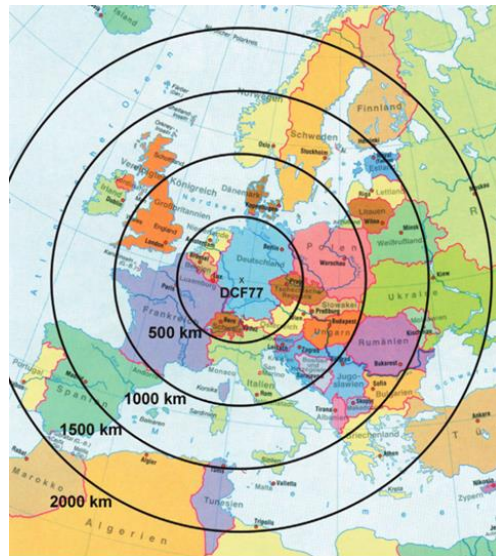
A4.2 Étude d'impact sur le service de fréquences étalon et de signaux horaires de 77,5 kHz

A4.2.1 Introduction

S'agissant du chargement sans fil des véhicules électriques (EV), une des bandes de fréquences désignée est la gamme de 79 à 90 kHz, très proche du signal horaire et de la fréquence étalon de 77,5 kHz (DCF77) transmis depuis la station horaire de Mainflingen, à proximité de Frankfurt/Main au centre de l'Allemagne. La présente étude a pour objet de déterminer si le principal signal de chargement, à savoir de 85 kHz, émis par les stations de transmission d'énergie sans fil est susceptible de bloquer la réception des horloges radiocommandées dans le voisinage. Les mesures ont été effectuées pour déterminer les champs admissibles des stations WPT et pour évaluer la distance minimale requise entre ces dernières et les récepteurs DCF77.

FIGURE A4-7

Vue schématique de la couverture de la transmission DCF77



«Grâce à l'émetteur à ondes longues DCF77... à 77,5 kHz, on dispose depuis de nombreuses années d'un émetteur fiable de signaux horaires et de fréquences étalon, qui peuvent être reçues dans de nombreuses régions en Europe. Les horloges radiocontrôlées DCF77 peuvent être fabriquées à bas coûts et des millions de telles horloges sont utilisées. Aujourd'hui, environ la moitié de toutes les «grandes horloges électriques» (pendules, horloges fixées sur un support, horloges murales et réveils) vendues dans le secteur privé sont des horloges radiocommandées. En outre, plus de la moitié d'un million d'horloges industrielles radiocommandées sont utilisées... le nombre de récepteurs DCF77 produits de 2000 à 2008 est estimé à environ 100 millions, la plus grande partie entrant de loin dans la catégorie d'horloges radiocommandées «destinées aux consommateurs»... La fréquence porteuse du système DCF77 est utilisée pour calibrer ou corriger automatiquement des générateurs de fréquences étalon. S'agissant des transports, par exemple, du contrôle du transport aérien ou ferroviaire, le système DCF77 joue un rôle majeur. Les horodateurs et les feux de circulation sont synchronisés par le système DCF77. Dans un nombre croissant de bâtiments, les systèmes de chauffage et de ventilation sont pilotés par le système DCF77, et les volets roulants sont fermés ou ouverts sous l'action du DCF77. Dans les secteurs des

télécommunications et de la fourniture d'énergie, les horloges radiocommandées DCF77 permettent de garantir la facturation correcte des tarifs liés à la consommation horaire. De nombreux serveurs de référence fonctionnant selon le protocole NTF diffusent l'heure reçue du système DCF77 dans les réseaux d'ordinateurs, et toutes les stations de radio et de télévision reçoivent l'heure exacte du système DCF77. Il ne s'agit là que d'un petit nombre d'exemples de l'application du système DCF77, mais ils illustrent bien les progrès considérables qui ont été accomplis dans les cinquante dernières années, et ce, également dans le domaine de la «vieille» technique et celui de la diffusion de l'heure par le biais d'ondes longues. En outre, les horloges radiocommandées sont encore utilisées dans une large mesure.»

La version actuelle de la norme ENSI EN 300 330 spécifie un champ magnétique maximal de 68,5,5 dB μ A/m sur une distance de 10 m, mais une future limite de 72 dB μ A/m est à l'examen (dans le projet de norme ENSI EN 303 417) et les mesures d'un système WPT ont montré que les émissions réelles peuvent atteindre des champs jusqu'à 74 dB μ A/m.

Au total, onze horloges et montres DCF77 de conception différentes ont été mises à l'essai dans le cadre des mesures menées pour établir les critères avec des systèmes WPT fonctionnant entre 79 et 90 kHz. Les mesures ont été effectuées dans une grande chambre blindée anéchoïque du laboratoire Kolberg de l'Agence fédérale de réseaux (BNetzA) en Allemagne, les 23 et 24 novembre 2017.

FIGURE A4-8
Dispositifs à l'essai



A4.2.2 signal (utile) DCF77

Le signal DCF77 a été produit par un générateur de signaux (R&S SMU200). Une longue séquence d'impulsions programmée sur dix minutes a été envoyée de manière répétée par le biais d'une antenne-cadre magnétique (EMCO 6511) positionnée à une distance de 10 m par rapport aux dispositifs mis à l'essai.

Pour la majorité des mesures, le champ du signal DCF77 à l'emplacement des dispositifs à l'essai a été ajusté à 50 dB μ V/m. Cela correspond au champ minimal en extérieur de l'émetteur réel DCF77 dans un rayon de 1 000 km.

D'autres mesures ont été effectuées avec un champ utile de 70 dB μ V/m en vue d'obtenir des indications sur la nature de l'effet de brouillage.

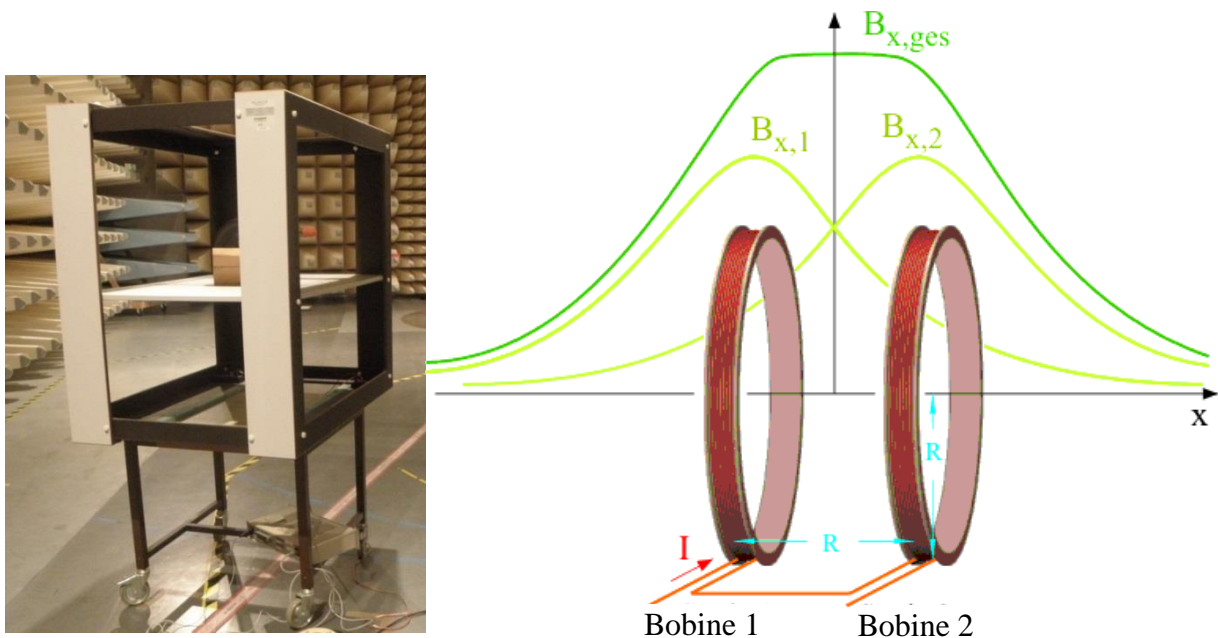
Une mesure de la sensibilité a permis de montrer qu'à l'exception du récepteur Rx9, toutes les horloges ont pu se synchroniser à un champ utile minimal de $50 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, valeur qui a été choisie pour les mesures suivantes du brouillage. Le récepteur Rx9 a été exclu des mesures suivantes en raison de son incapacité à se synchroniser au champ utile.

A4.2.3 signal (brouilleur) du système WPT

Le signal brouilleur a été émulé par une porteuse non modulée émanant d'un générateur de signaux (HP 8648C) et transmis via une «bobine de Helmholtz». Cette bobine se compose de deux bobines magnétiques parallèles montées sur un cadre de bois. Un champ magnétique homogène est généré à l'intérieur du cadre. Les dispositifs à l'essai sont placés au centre du cadre (entre les deux bobines).

FIGURE A4-9

Bobine de Helmholtz et son principe



Les seuls effets de brouillage possibles dans ces mesures sont le blocage/la désensibilisation ou la surcharge du récepteur DCF77.

A4.2.3.1 Critère de défaillance

Sans source de brouillage, toutes les horloges ont terminé le processus de synchronisation dans les trois minutes qui ont suivi leur démarrage.

Le critère de défaillance utilisé pour ces mesures a été l'un des effets suivants:

- 1) Aucune indication des impulsions reçues (pour les horloges dotées d'indicateurs d'impulsions).
- 2) Impossibilité de se synchroniser sur la date et l'heure transmises du signal utile.
- 3) La synchronisation sur l'heure transmise du signal utile DCF77 a duré une minute de plus que dans une situation exempte de toute source de brouillage.

A4.2.3.2 Dispositif de mesure

Afin de garantir que les dispositifs soumis à l'essai ne reçoivent que les signaux utilisés pour effectuer cette mesure, le dispositif de mesure a été placé dans une chambre blindée anéchoïque. Fait majeur, les dispositifs à l'essai ne pouvaient pas recevoir le signal DCF77 «réel» émis par l'émetteur de Mainflingen. Cela a été garanti par une mesure effectuée à l'aide d'une antenne-cadre magnétique (R&S HFH2-Z2) placée au centre d'une bobine de Helmholtz et d'un analyseur de spectre (R&S ESU).

Les dispositifs soumis à l'essai ont été placés au centre du cadre de bois avec la bobine de Helmholtz. Le signal utile DCF77 a été transmis à une distance de 10 m. Les dispositifs soumis à l'essai ont été orientés de manière à recevoir le maximum tant de signaux utiles que de signaux non désirés.

FIGURE A4-10

Dispositif de mesure – À l'avant: génération d'un signal utile DCF77.
À l'arrière: bobine de Helmholtz avec le dispositif mis à l'essai

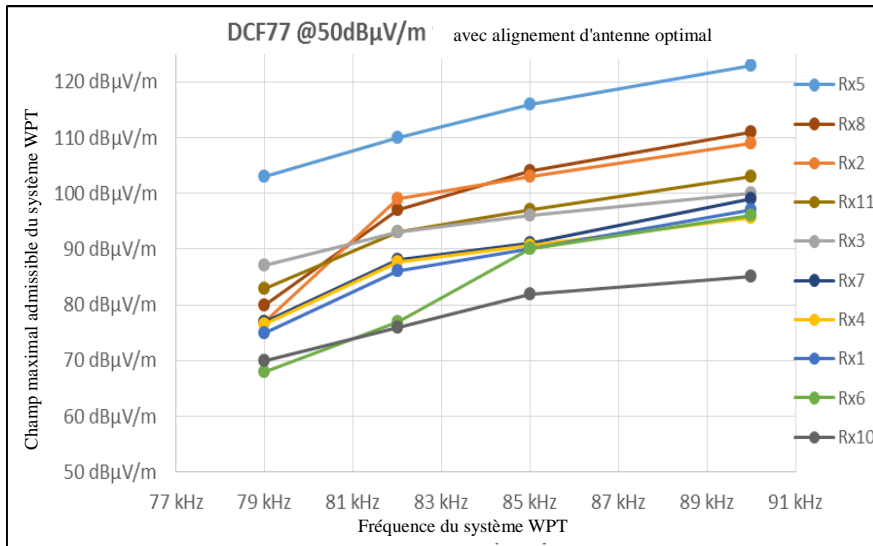


A4.2.3.3 Mesures du brouillage

Le niveau du signal utile DCF77 a été ajusté à $50 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ au niveau des dispositifs mis à l'essai. Le niveau du signal non désiré au niveau des dispositifs mis à l'essai a été augmenté par paliers de 3 dB. Pour chaque mesure, le processus de synchronisation a été mis en route sur tous les dispositifs à l'essai et la capacité de synchronisation a été déterminée pour chaque dispositif, jusqu'à sa défaillance.

FIGURE A4-11

Résultats des mesures pour un champ utile de 50 dBμV/m, avec un alignement d'antenne optimal

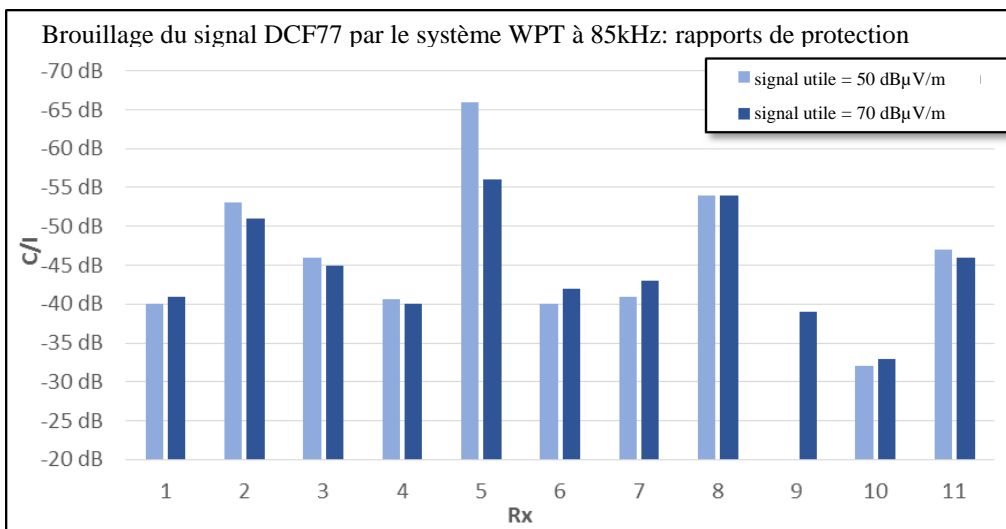


Les résultats montrent une différence significative en matière de protection contre les signaux émanant du système WPT entre les différentes horloges. L'horloge la mieux protégée est l'horloge Rx5 qui fonctionne encore avec un signal émis par le WPT d'environ 35 dB supérieur à celui de l'horloge la moins protégée Rx10.

Une mesure supplémentaire a été effectuée avec un champ utile DCF77 de 70 dBμV/m. La Fig. A4-12 compare la porteuse mesurée au rapport de brouillage (C/I, différence entre le champ utile et le champ non désiré) des deux mesures.

FIGURE A4-12

Rapport mesuré C/I pour les divers champs utiles



On peut observer que le rapport C/I est pratiquement indépendant du niveau de signal utile pour tous les récepteurs à l'exception du récepteur Rx5. Ainsi, de manière générale, l'effet de brouillage des champs élevés du système WPT peut être compensé en augmentant le champ du DCF77. Cela indique que l'effet dominant est une sélectivité insuffisante du récepteur, ou une désensibilisation (blocage). Seul le récepteur Rx5 semble présenter une surcharge.

A4.2.3.4 Mesures effectuées avec une orientation d'antenne différente

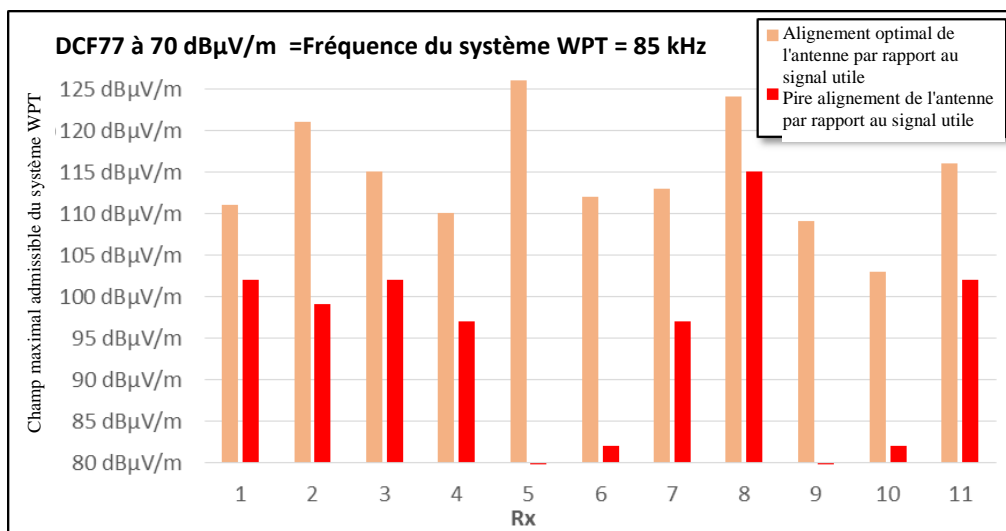
Dans toutes les mesures précédentes, les antennes de réception ont été alignées tant sur les signaux utiles que sur les signaux non désirés. Afin d'évaluer l'effet des alignements d'antenne non optimaux, on a effectué d'autres mesures lorsque le signal non désiré émis par le système WPT arrivait encore dans la direction de réception optimale, mais le signal utile DCF77 arrivait d'une direction dans laquelle l'antenne du dispositif mis à l'essai était moins sensible (décalage de 90°). À ce point, le système de mesure pouvait être considéré comme le scénario du «pire cas».

Avec ce système de mesure, seuls les récepteurs Rx1 et Rx2 ont pu se synchroniser au champ utile de 50 dB μ V/m (sans source de brouillage) mais tous les récepteurs ont pu se synchroniser à 70 dB μ V/m.

Le graphique ci-après compare les deux mesures: la première est effectuée avec un alignement optimal d'antenne et est appelée «alignement optimal» et la deuxième avec un alignement qualifié de «pire alignement».

FIGURE A4-13

Comparaison des résultats avec différents alignements d'antennes pour le champ utile élevé



Il ressort de cette mesure que la directivité des antennes de réception varie fortement: si pour le récepteur Rx1 la directivité n'est que de 9 dB, elle est de 30 dB pour les récepteurs Rx6. Il convient de mentionner, toutefois, que dans un champ homogène absolu, la partie minimale réceptrice des antennes directives Rx doit être d'une grande précision avec un positionnement exact. La partie minimale n'a pas pu être positionnée ainsi pour tous les dispositifs mis à l'essai.

A4.2.4 Évaluation de l'impact

Les résultats permettent d'évaluer la distance requise entre les systèmes WPT et les horloges DCF77 dans une certaine mesure, pour garantir que le système WPT n'exerce aucun effet préjudiciable sur le système DCF77. Les Tableaux et Figures ci-après peuvent permettre d'estimer ces distances pour les trois décalages de fréquence mesurée. Pour les calculs sous-jacents, on s'est fondé sur les hypothèses ci-après:

Toutes les valeurs C/I proviennent des résultats obtenus avec des alignements d'antennes optimaux:

- 1) Le champ maximal du système WPT sur la fréquence principale, selon la norme ETSI EN 300 330 est de $68,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ avec une distance de 10 m, ce qui correspond à un champ électrique de $120 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.
- 2) Le champ du système WPT dans le champ proche est censé suivre une baisse de décade/60 dB avec la distance.
- 3) Les courbes de 90% et 10% sont dérivées de la deuxième meilleure valeur et de la deuxième valeur la plus mauvaise obtenues.

La distance de compatibilité est estimée selon la formule suivante:

$$d \left(E_{DCF}, \frac{C}{I} \right) = 10^{\left(\frac{120 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} - E_{DCF} + \frac{C}{I} + 1}{60 \frac{\text{dB}}{\text{dec}}} \right)}$$

FIGURE A4-14

Distances de protection à des champs différents du système DCF77
pour un système WPT à 79 kHz

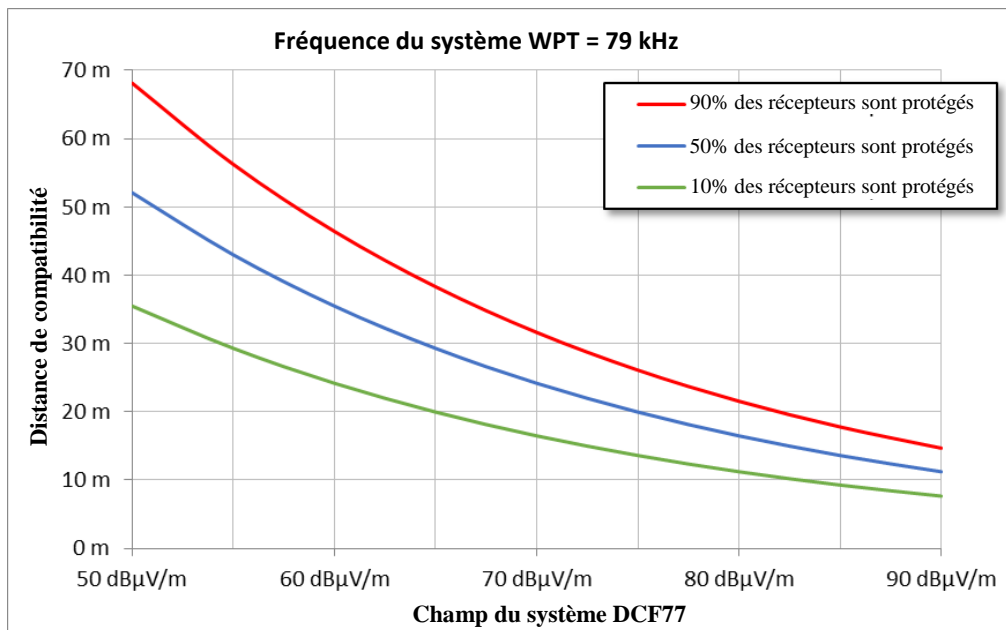


FIGURE A4-15

Distances de protection à des champs différents du système DCF77
pour un système WPT à 85 kHz

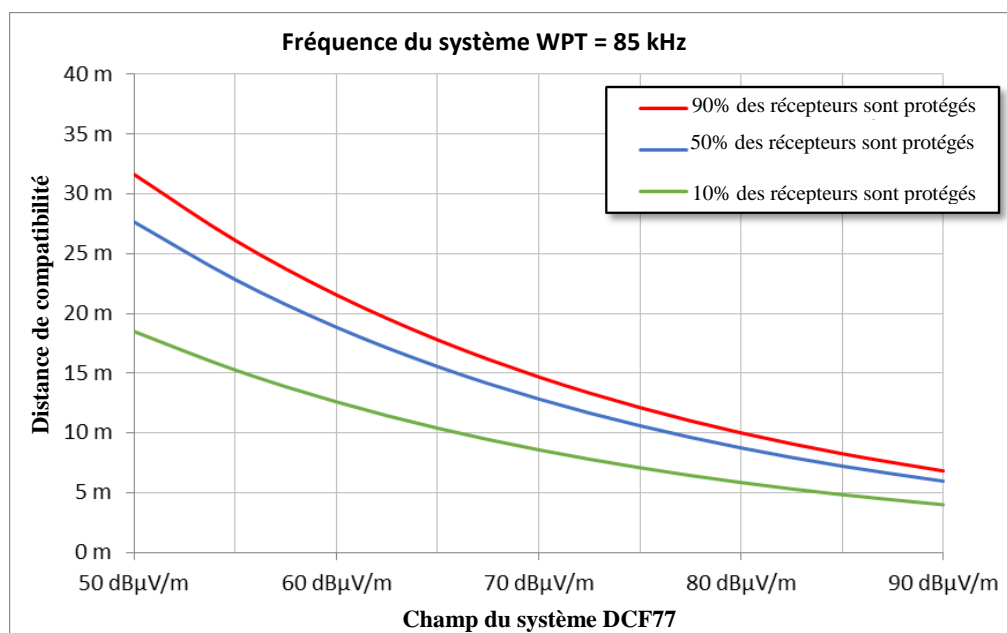
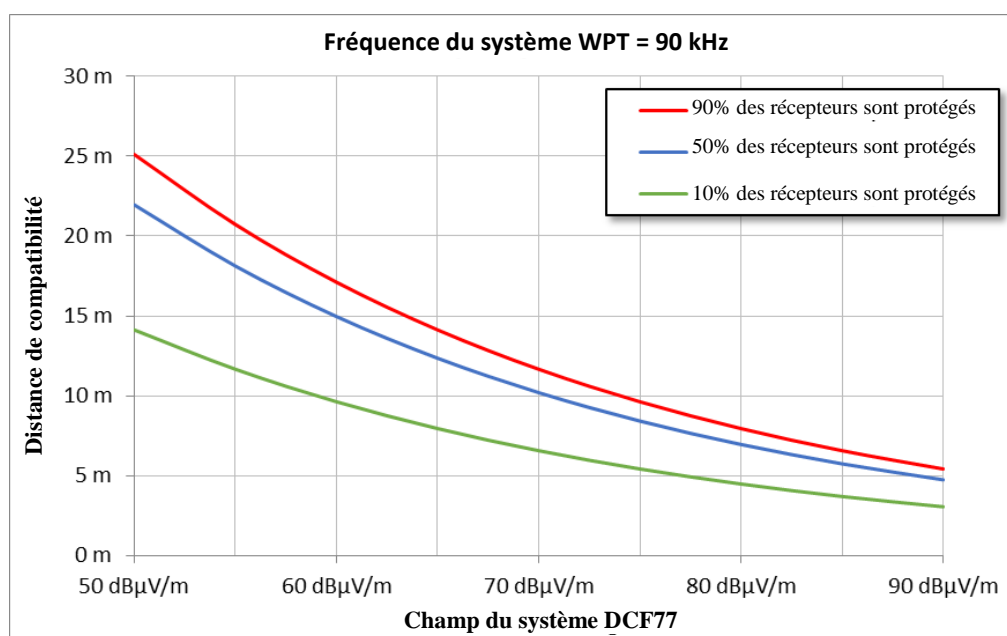


FIGURE A4-16

Distances de protection à différents champs du système DCF77
pour un système WPT à 90 kHz



A4.2.5 Conclusion sur les mesures du système DCF

Même en cas de respect de la limite actuelle de 68,5 dBµA/m recommandée pour les dispositifs WPT (dispositifs SRD à induction) dans l'Annexe 9 de la Recommandation ERC/REC 70-03 pour la principale émission rayonnée du système WPT, aucun des dispositifs DCF mis à l'essai ne sont exploités à une distance de 10 m lorsqu'ils ne reçoivent que le champ utile minimal de 50 dBµV/m.

La distance de protection réelle est fonction du champ utile (DCF77) reçu par l'horloge radio, du rayonnement brouilleur et du décalage de fréquence. Par exemple, lorsque le niveau du système DCF77 est de 60 dBµV/m (ce que l'on peut supposer être le cas en Allemagne), le niveau du

système WPT est de 68,5 dB μ A/m à une distance de 10 m et la fréquence du système WPT se situe dans le milieu de la bande à 85 kHz; Il faut que 50% des récepteurs DCF se situent à plus de 18 m de la station WPT pour éviter tout blocage. Si l'on augmente de 13,5 dB le niveau du système WPT pour atteindre 82 dB μ A/m, il faut augmenter la distance jusqu'à 31 m.

Il y a lieu de distinguer les récepteurs DCF critiques des récepteurs DCF non critiques.

Les récepteurs DCF mobiles non critiques (par exemple, les bracelets-montres) devraient pouvoir se synchroniser de manière générale. En ce qui concerne les récepteurs DCF fixes non critiques (horloges personnelles) on peut supposer qu'une seule station de chargement WPT située à une distance de 31 m ne provoquera pas de brouillage préjudiciable, car le chargement ne devrait pas durer 24 h. Ainsi, le dispositif DCF devrait pouvoir se synchroniser plusieurs fois par jour. Un ensemble de plusieurs chargeurs situés à une distance de 31 m réduirait la possibilité de synchronisation. Une méthode de limitation du brouillage que l'on pourrait envisager serait de prévoir une distance minimale entre les stations de chargement.

S'agissant des récepteurs DCF critiques (par exemple, gestion du trafic, tarifs en fonction du temps, usages militaires) la conclusion varie selon la description des systèmes. Le passage à l'heure d'été/d'hiver est un événement majeur auquel il faut prêter attention. Une mesure de limitation de brouillage que l'on pourrait envisager serait de prévoir une pause dans le chargement pendant un certain laps de temps. Par ailleurs, il serait possible de prévoir une distance minimale entre les stations de chargement pour les récepteurs DCF critiques.

Il convient de noter l'absence de documentation technique harmonisée concernant les récepteurs DCF. L'amélioration des caractéristiques des récepteurs fondées sur une normalisation pourrait constituer une mesure de limitation du brouillage qui pourrait être mise en place.

Annexe 5

Étude d'impact des systèmes WPT-EV réalisée par la Chine

A5.1 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur la radiodiffusion à ondes hectométriques

La présente étude porte sur l'impact potentiel des systèmes WPT-EV sur la réception de la radiodiffusion à ondes hectométriques. En Chine, le service de radiodiffusion à ondes hectométriques est en service dans une gamme de fréquences comprise entre 526,5 et 1 606,5 kHz. Cette étude vise à recenser et quantifier les risques de brouillage et les distances de séparation requises en vue d'éviter tout brouillage préjudiciable. Dans le cadre de cette étude, l'harmonique rayonnée par le système WPT-EV et son impact sur les récepteurs radio à modulation d'amplitude dans une gamme de fréquences comprise entre 526,5 et 1 606,5 kHz a été examinée.

S'agissant des critères de protection de radiodiffusion, nous faisons référence à la norme nationale de la Chine GB 2017-80, aux Recommandations UIT-R BS.560-4 et UIT-R BS.703. Les essais sur le terrain ont été réalisés aux fins d'étudier et de vérifier les critères de protection minimale en zone urbaine.

En ce qui concerne le niveau des émissions du système WPT-EV, on suppose que les émissions harmoniques dans la gamme de fréquences comprises entre 526,5 et 1 606,5 kHz respectent les limites de rayonnements non essentiels définis dans la norme ETSI EN 303 417. La conversion du champ H en champ E est effectuée par un rapport E/H réel fondé sur le petit modèle cadre (à boucle) à une distance appropriée.

Outre l'analyse numérique, un essai sur le terrain a été effectué pour observer l'expérience audio subjective avec les différentes distances de séparation. Le champ du système WPT-EV et le champ du signal de radiodiffusion ont été mesurés. Le rapport de protection a été vérifié selon l'expérience audio subjective.

Dans le § A5.1.1 figurent les caractéristiques techniques de la radiodiffusion à ondes hectométriques et les critères de protection selon la Recommandation de l'UIT-R.

Le § A5.1.2 porte sur l'analyse numérique réalisée sur le brouillage perçu par les récepteurs de la radiodiffusion et provoqué par les harmoniques et les rayonnements non essentiels observés lors de l'utilisation du système WPT-EV.

Le § A5.1.4 traite de l'impact observé lors de l'expérience audio dans le cadre de l'essai sur le terrain et des expérimentations en zone urbaine, qui correspondent au scénario d'utilisation typique du système WPT-EV. La simulation de Monte Carlo a été effectuée afin d'évaluer le brouillage cumulatif émanant des multiples stations de chargement WPT-EV fonctionnant en même temps.

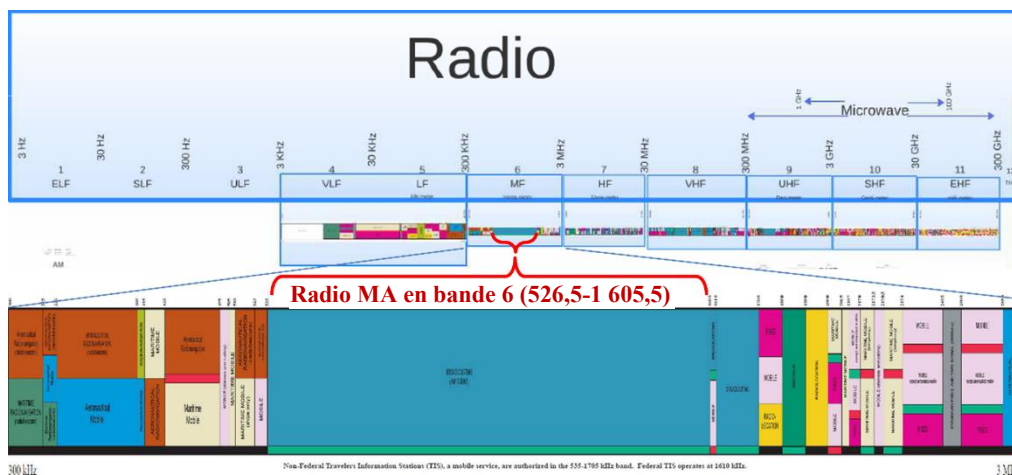
Le brouillage de la réception de la radiodiffusion à ondes hectométriques provoqué par les harmoniques émanant du chargeur WPT-EV fonctionnant dans la gamme de fréquences de 79-90 kHz a fait l'objet d'une étude à l'aide d'une analyse théorique, d'un essai sur le champ et de simulations dans une zone urbaine traditionnelle. D'autres essais sur le terrain peuvent être réalisés pour d'autres scénarios si cela est nécessaire.

A5.1.1 Caractéristiques techniques de la radiodiffusion à ondes hectométriques et critères de protection

A5.1.1.1 Caractéristiques techniques de la radiodiffusion à ondes hectométriques et modulation d'amplitude

Comme illustré dans la Fig. A5-1, la gamme de fréquences du système de radiodiffusion à ondes hectométriques et modulation d'amplitude se situe entre 526,5 et 1 606,5 kHz. Elle assure essentiellement la couverture large des services audio de radiodiffusion à modulation d'amplitude.

FIGURE A5-1
Fréquence de radiodiffusion en modulation d'amplitude à ondes hectométriques

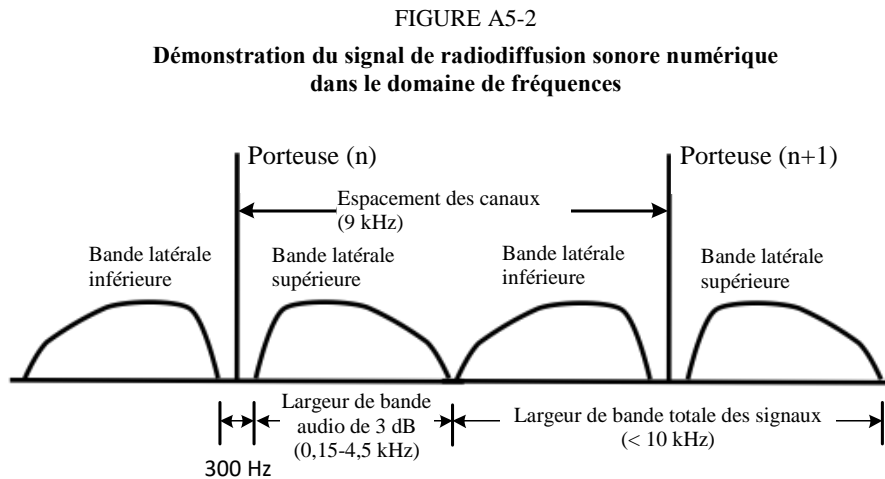


Les caractéristiques techniques essentielles ci-après pour la radiodiffusion sonore numérique à modulation d'amplitude et à ondes hectométriques sont précisées pour chaque norme de canal spécifique.

- Espacement de canaux: 9 kHz

- Aucun espace audio avec la porteuse entre la bande latérale inférieure et la bande latérale supérieure
- UIT 300 Hz
- Largeur de bande du canal émetteur/récepteur: <10 kHz
- Audio WB: 4,5 kHz.

La caractéristique du domaine de fréquence en modulation de radiodiffusion sonore numérique est illustrée dans la Fig. A5-2.



Il convient d'exprimer la sensibilité au moyen d'une valeur moyenne unique pour chaque bande de radiodiffusion, à partir de laquelle il est possible de calculer, compte tenu d'autres influences (bruit artificiel, par exemple) le champ minimal utilisable. Les valeurs proposées de la sensibilité minimale d'un récepteur moyen sont les suivantes:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): 66 dB(μ V/m)
- la Bande 6 (ondes hectométriques): 60 dB(μ V/m)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): 40 dB(μ V/m).

Dans cette étude, 60 dB(μ V/m) est la valeur appliquée comme sensibilité minimale du signal de radiodiffusion à ondes hectométriques, et préconisée dans la Recommandation UIT-R BS.703 en 1990. Au bout de 28 ans, le bruit ambiant a fortement augmenté, notamment dans les zones urbaines. La valeur du champ du signal de radiodiffusion à ondes hectométriques est généralement largement supérieure au niveau de sensibilité de 60 dB(μ V/m) défini par la Recommandation UIT-R BS.703 pour adapter le bruit ambiant existant, en particulier, dans les zones urbaines. Cela est vérifié dans les mesures sur le terrain.

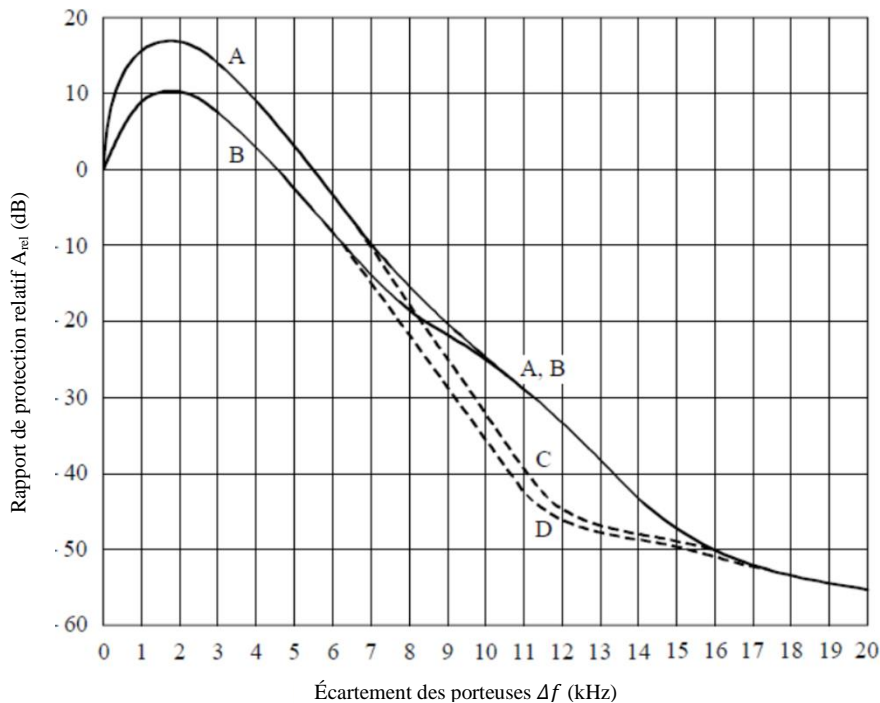
A5.1.1.2 Critères de protection de la radiodiffusion à ondes hectométriques

La Recommandation UIT-R M.560-40 préconise les rapports de protection RF pour la radiodiffusion sonore dans les bandes 5 (ondes kilométriques), 6 (ondes hectométriques) et 7 (ondes décamétriques). La Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes hectométriques (Région 2) (Rio de Janeiro, 1981) a utilisé un rapport de protection dans le même canal de 26 dB, à la fois pour les services par onde de sol et par onde ionosphérique. La Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques pour les Régions 1 et 3 (Genève, 1975) a utilisé respectivement, pour les services par onde de sol et par onde ionosphérique, des rapports de protection dans le même canal de 30 et 27 dB. La norme nationale de la Chine adopte un rapport de protection dans le même canal de 26 dB.

Le rapport de protection relatif en radiofréquence est la différence (dB) entre le rapport de protection pour une émission utile et une émission brouilleuse dont les porteuses diffèrent de Δf (Hz ou kHz), et le rapport de protection de ces mêmes émissions pour des porteuses de mêmes fréquences. Après avoir déterminé une valeur du rapport de protection en radiofréquence dans le même canal (qui est le même que le rapport de protection en audiofréquence), le rapport de protection en radiofréquence exprimé en fonction de l'écartement des porteuses est donné par les courbes de la Fig. A5-3.

FIGURE A5-3

Valeurs relatives du rapport de protection en radiofréquence
en fonction de l'écartement des porteuses

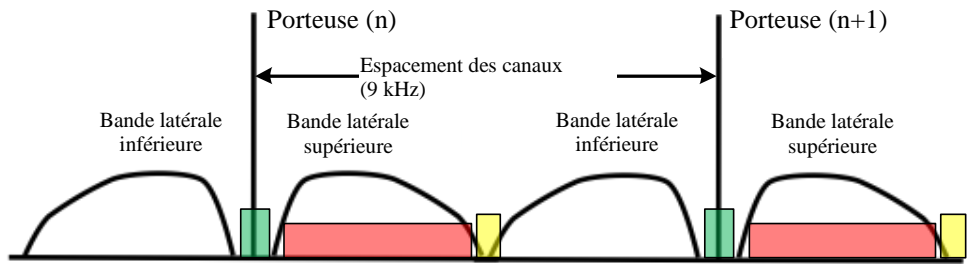


S'agissant de rapports de protection dans la Recommandation UIT-R M.560-4, le rapport de protection relatif en radiofréquence (par rapport aux porteuses) vise à éviter tout brouillage provoqué par les autres stations en modulation d'amplitude. En conséquence, on a supposé que le signal brouilleur était une forme d'onde audio modulée en amplitude.

Selon la norme nationale de la Chine, le rapport de protection de la forme d'onde audio modulée en amplitude doit être de 26 dB. Si le signal brouilleur est un signal à fréquence unique ou un signal de bruit à bande très étroite, le rapport de protection de 26 dB est également suffisant. Cela est vérifié par l'essai sur le terrain illustré dans le Tableau A5-4.

En raison des caractéristiques techniques de la modulation de la radiodiffusion numérique sonore et de l'existence d'un écart central entre la bande latérale inférieure et la bande latérale supérieure, le brouillage à fréquence unique ou à bande très étroite passant dans l'écart central (illustré par des blocs verts dans la Fig. A5-4) ne provoquera en théorie aucune brouillage préjudiciable pour la réception radio. En ce qui concerne les blocs jaunes illustrés dans la Fig. A5-4, le brouillage se situe au bord de la porteuse audio. Leurs critères de protection peuvent ne pas être aussi faibles que pour les blocs verts situés au centre, mais leurs critères de protection peuvent cependant être encore assouplis par rapport à la partie centrale de la bande latérale inférieure et de la bande latérale supérieure.

FIGURE A5-4

Brouillage à fréquence unique du SIGNAL de la radiodiffusion numérique sonore**A5.1.2 Analyse du brouillage numérique****A5.1.2.1 Harmoniques du système WPT-EV, ses fréquences de fonctionnement et ses émissions**

Le risque de brouillage dû aux harmoniques du système WPT-EV en cas de coexistence avec un tel système est analysé et classé comme suit:

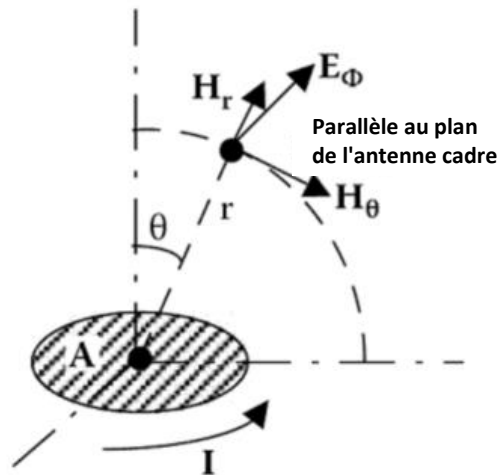
- Faible risque: les harmoniques sont situées dans l'intervalle des porteuses (partie verte dans la Fig. A5-4) et à l'extérieur de la bande audio. Les harmoniques du système WPT-EV fonctionnant à une fréquence de 81/90 kHz se situeront dans l'écart central entre la bande latérale inférieure et la bande latérale supérieure des porteuses modulées en amplitude.
- Risque modéré: les harmoniques sont situées dans les intervalles entre les canaux adjacents (partie jaune dans la Fig. A5-4). La moitié des harmoniques vont passer dans l'écart central entre la bande latérale supérieure et la bande latérale inférieure, et la moitié des harmoniques passeront au bord de la bande latérale supérieure ou de la bande latérale inférieure, lorsque le rapport de protection peut être inférieur à celui requis pour les harmoniques passant dans la partie centrale de la bande latérale supérieure/bande latérale inférieure.
- Risque élevé: les harmoniques se situent dans les bandes audio, c'est-à-dire, la bande latérale inférieure ou la bande latérale supérieure. La fréquence de fonctionnement du système WPT-EV se situera entre 79 kHz et 90 kHz, à l'exception des fréquences de 85,5 kHz et 90 kHz.

A5.1.2.2 Transformation du champ H en champ E

Étant donné que la source d'émission émanant du système WPT-EV est une bobine, le champ H va dominer les émissions dans le champ proche. Le champ H décroît de manière différente selon les conditions du sol, par exemple s'il s'agit de terre ou d'eau, et de la distance par rapport à sa source. Pour une simple évaluation, la condition dans un espace libre représente le pire scénario. Il est possible de montrer que le champ H va décroître de 60 dB/dec au niveau de la région du champ proche, définie par $\lambda/2\pi$ progressivement jusqu'à 20 dB/dec au niveau de la région du champ lointain.

Le rapport E/H et les émissions sont évalués sur la base d'un modèle à cadre situé dans un espace libre. Le modèle est vérifié par mesures et par simulation. La petite antenne-cadre est un modèle en boucle fermée comme illustré dans la Fig. A5-5.

FIGURE A5-5
Rayonnement d'une petite antenne-cadre



S'agissant des rayonnements émis par la petite antenne-cadre, E et H peuvent être décrits approximativement comme suit:

$$E_{\phi} (V/m) = \pi Z_0 \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2} \sin \theta \quad (1)$$

$$H_{\theta} (A/m) = \pi \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^4} \sin \theta \quad (2)$$

Où, I est le courant de boucle (A, ampère); A est la superficie de boucle (m^2); λ est la longueur d'onde (m), $\lambda = 300/f$, f est la fréquence (MHz); r est la distance jusqu'au point d'observation (m); et Z_0 est l'impédance de l'espace libre, 377Ω .

Au niveau de chaque région, le champ E émanant d'un chargeur WPT-EV est converti selon un rapport E/H comme illustré dans la Fig. A5-6 (canal inférieur de la bande des ondes hectométriques), la Fig. A5-7 (canal intermédiaire de la bande des ondes hectométriques), et la Fig. A5-8 (canal supérieur de la bande des ondes hectométriques).

FIGURE A5-6

Rapport E/H en fonction de la distance par la source de la boucle dans l'espace libre
à l'extrémité inférieure de la bande d'ondes hectométriques (530 kHz)
Canal inférieur dans la bande d'ondes hectométriques

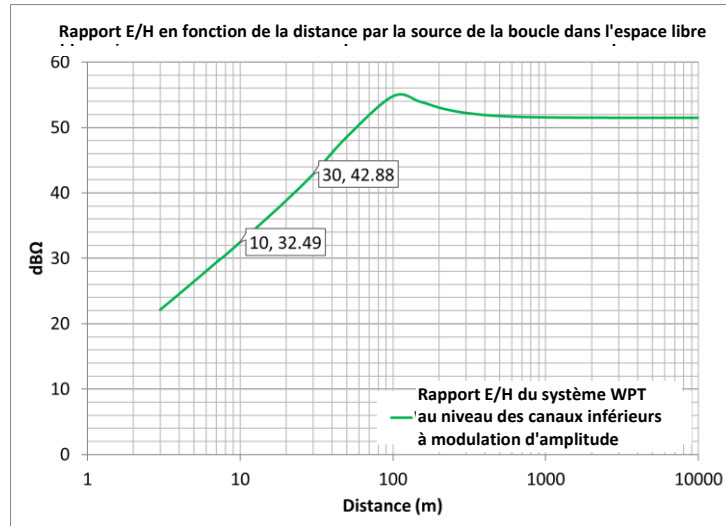


FIGURE A5-7

Rapport E/H en fonction de la distance par la source de la boucle dans l'espace libre
au milieu de la bande d'ondes hectométriques (1 062 kHz)
Canal intermédiaire dans la bande d'ondes hectométriques

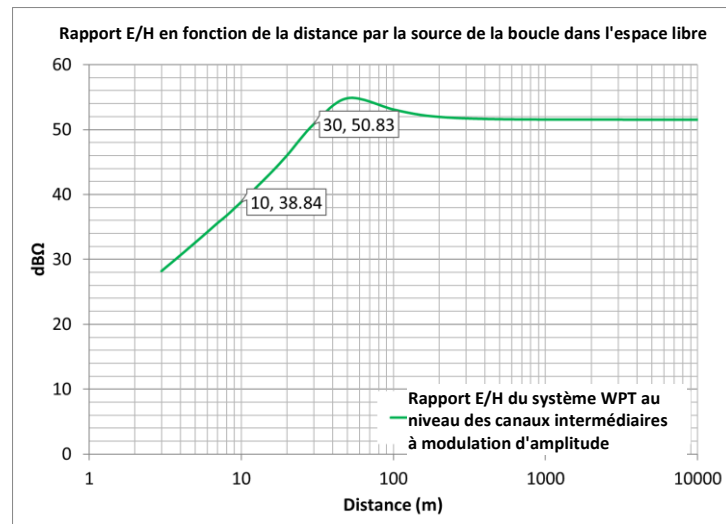
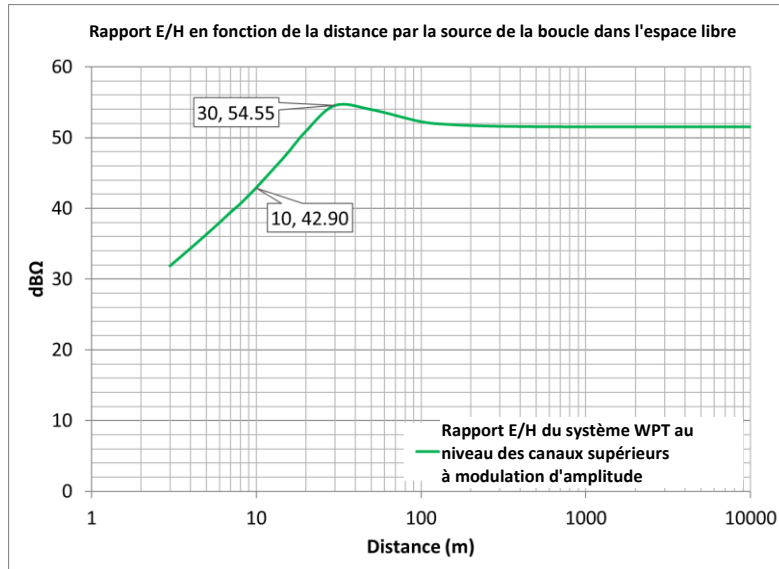


FIGURE A5-8

**Rapport E/H en fonction de la distance par la source de la boucle dans l'espace libre à l'extrémité supérieure de la bande d'ondes hectométriques (1 062kHz)
Canaux supérieurs dans la bande d'ondes hectométriques**



A5.1.2.3 Analyse numérique

On suppose que les harmoniques du système WPT-EV respectent les limites énoncées dans la norme ESTI EN 303 417. Les limites 0 sont censées constituer les émissions maximales émises par le système WPT-EV. Le champ E converti doit être utilisé pour évaluer le brouillage avec la modulation d'amplitude. Dans le Tableau A5-1, on suppose que la fréquence de fonctionnement du système WPT-EV se situe dans la gamme de fréquences de 79-90 kHz. L'écart est exprimé par l'équation (3).

$$\text{Écart} = \text{le rapport de protection de 26 dB} - (\text{sensibilité minimale du récepteur modulé en amplitude} - \text{champ E de l'harmonique du système WPT-EV}) \quad (3)$$

TABLEAU A5-1

Analyse du champ E et analyse de l'écart de protection avec un espace libre de 10 m

Fréquence (MHz)	Signal parasite limite de la norme EN 303 417 (dBμA/m @ 10 m)	E/H (dBΩ)	Limite du champ E converti (dBμV/m @ 10 m)	Sensibilité minimale du récepteur modulé en amplitude (dBμV/m)	Écart (dB)
0,531	9,29	32,51	41,80	60,00	7,80
1,062	6,28	38,84	45,12	60,00	11,12
1,602	4,50	42,90	47,40	60,00	13,40

Selon l'analyse figurant dans le Tableau A5-1, on observe un écart (7,80 dB à 13,4 dB) par rapport au critère strict de protection de 26 dB prescrit au niveau de la sensibilité. Premièrement, dans la mise en place de la production commerciale, une certaine marge sera prévue pour respecter la prescription minimale de la norme. En conséquence, le niveau des harmoniques des produits commerciaux sera inférieur à la prescription de la norme. Deuxièmement, le niveau du signal de radiodiffusion est largement supérieur au niveau de sensibilité minimale en zone urbaine, car le bruit ambiant est généralement plus important en ville. En outre, un récepteur radio peut résister à un brouillage beaucoup plus fort dans une zone à bonne couverture. Troisièmement, en général les

garages souterrains et les bâtiments des habitations sont séparés par des murs. L'affaiblissement par pénétration dans les murs va atténuer d'environ 17 dB de plus le signal du système WPT-EV. Cela a été mesuré et vérifié par l'essai sur le terrain. Étant donné qu'aux fins de respecter les critères de protection, la valeur admissible pour tout écart observé doit être de moins de 17 dB, la coexistence entre le système de radiodiffusion et le chargement WPT-EV semble faisable.

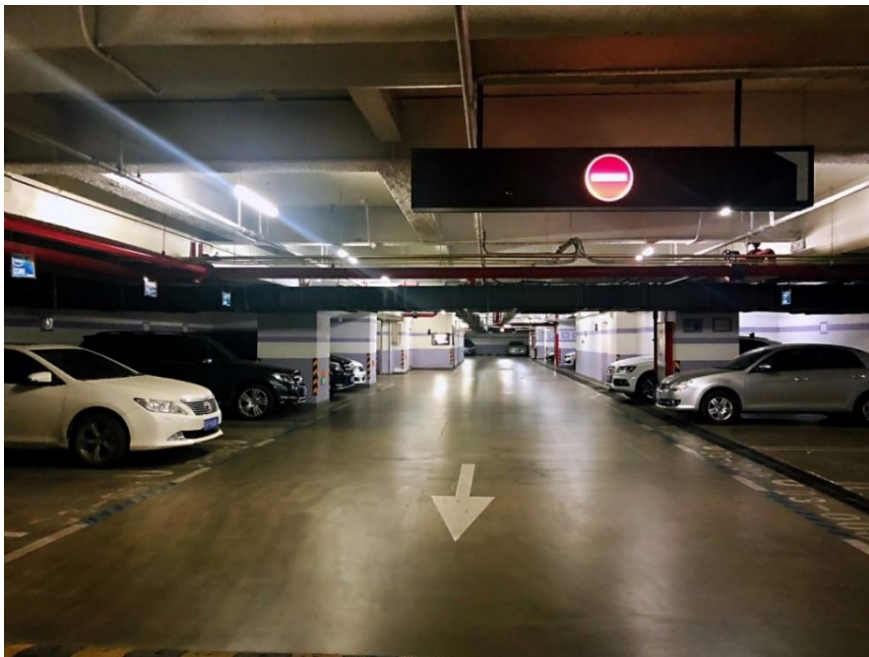
A5.1.3 Évaluation et mesures sur le terrain

A5.1.3.1 Scénarios typiques d'utilisation de systèmes WPT-EV en Chine

Comme illustré dans la Fig. A5-9 ci-dessous, les garages et parkings souterrains sont très populaires en Chine. En général, un étage de parking mesure 4~4,5 mètres de haut. Les récepteurs radio modulés en amplitude sont généralement placés sur le sol à une hauteur d'au moins un mètre.

FIGURE A5-9

Photo d'un parking souterrain en Chine



A5.1.3.2 Évaluation subjective

La Recommandation UIT-R BS.1284-1 énonce des critères d'évaluation subjective de la qualité du son. Des échelles à cinq notes sont utilisées pour l'évaluation subjective de la qualité du son, comme illustré dans le Tableau A5-2.

TABLEAU A5-2

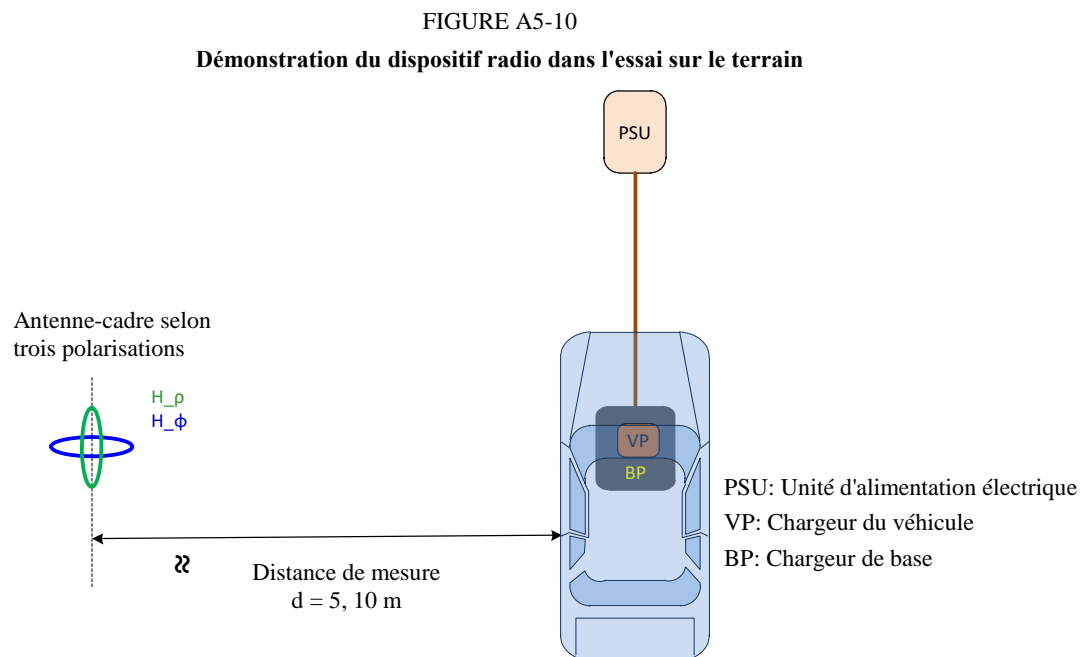
Échelle de l'évaluation subjective de la Recommandation UIT-R BS.1284-1

Qualité du son	Dégradation
5 Excellent	5 Imperceptible
4 Bon	4 Perceptible, sans être gênant
3 Moyen	3 Légèrement gênant
2 Médiocre	2 Gênant
1 Mauvais	1 Très gênant

A5.1.3.3 Dispositifs de mesures radioélectriques

Un essai sur le terrain a été réalisé dans la zone urbaine de Shanghai en Chine. Le dispositif de mesure est illustré dans la Fig. A5-10. Les conditions dans lesquelles les mesures ont été effectuées sont les suivantes:

- pour la mesure du champ H, on a utilisé une antenne tige ou une antenne-cadre;
- la distance de mesure a été fixée à 5 m et 10 m. Dans un cas extrême, on a fait un essai à 3,4 m;
- la fréquence de chargement est fixée à 85,5 kHz, 85,68 kHz et 85,2 kHz respectivement;
- la puissance de chargement de la batterie est de 6,6 kW;
- la radio utilisée dans cet essai est une radio Tecsun PL-380;
- comparaison de la qualité subjective de la radio à la distance sélectionnée avec/sans chargement WPT-EV du véhicule électrique.



A5.1.3.4 Résultats et analyse des mesures

Au total, il existe neuf canaux modulés en fréquence à Shanghai. La largeur de bande du signal de chaque canal est de 9 kHz. Deux canaux d'ondes hectométriques ont été sélectionnés avec précision pour réaliser l'essai de brouillage par des harmoniques, et ce sont les canaux dans lesquels peuvent passer les harmoniques lors de l'essai des fréquences émises par le système WPT-EV. Les niveaux des signaux de la radiodiffusion et la qualité du son pour les canaux d'ondes hectométriques ont été mesurés et aucun brouillage n'a été provoqué par le système WPT-EV, comme illustré dans le Tableau A5-3.

TABLEAU A5-3

Niveaux des signaux des canaux modulés en fréquence à Shanghai

Canal d'ondes hectométriques (kHz)	Niveau du signal	Note de la qualité du son
855	Fort (94 dB μ V/m)	5
1197	Fort (86,4 dB μ V/m)	4

Le résultat de la mesure du bruit ambiant du champ H est d'environ $-17 \sim -13$ dB μ A/m/15 Hz autour de 850 kHz dans une zone urbaine de Shanghai. Le niveau de bruit ambiant du champ H à une fréquence de 9 kHz est d'environ 10,8 ~ 14,8 dB μ A/m. Il faut convertir le champ H en champ E avec le rapport E/H de 51,5 dB Ω . Le champ E du niveau de bruit ambiant à 9 kHz est d'environ 62,3 ~ 66,3 dB μ V/m.

S'agissant du champ de radiodiffusion en modulation d'amplitude en zone urbaine, il a fait l'objet d'essais à Shanghai. Selon les essais sur le terrain, le champ de radiodiffusion en modulation d'amplitude devrait être au moins supérieur à 80 dB μ V/m pour maintenir une note de qualité sonore de plus de 3 en zone urbaine traditionnelle. Étant donné que le niveau de signal de 855 kHz est mesuré comme étant égal à environ 94 dB μ V/m, le rapport signal/brouillage du récepteur radio dans le canal de 855 kHz, dans le champ soumis à un bruit ambiant, est d'environ 27,7 dB ~ 31,7 dB.

Le signal émis par le système WPT-EV a été mesuré à une distance d'un mètre du chargeur. L'onde de forme est une onde entretenue avec un champ d'environ 74,4 dB μ A/m. La fréquence centrale a été réglée à 85,5 kHz, 85,68 kHz ou 85,2 kHz respectivement. La largeur de bande du signal de 6 dB est d'environ 1 Hz, ce qui est limité par la résolution du matériel d'essai, et toutes les harmoniques sont du type onde entretenue avec une source de bruit à bande très étroite.

Les formes d'ondes du canal à modulation d'amplitude mesurées lorsque le chargeur WPT-EV est hors tension sont illustrées dans les Figs. A5-11 et A5-12. Ces mêmes formes d'ondes lorsque le chargeur WPT-EV est sous tension sont représentées dans la Fig. A5-13 (détails du résultat des mesures dans les canaux à modulation d'amplitude (850 kHz) sans harmonique du système WPT-EV) et Fig. A5-14 (détails du résultat des mesures dans les canaux à modulation d'amplitude (1 197 kHz) en présence d'harmoniques du système WPT-EV (fréquence de fonctionnement du système WPT-EV de 85,68 kHz) à 10 m). Le tracé orange indique le résultat obtenu lorsque l'analyseur de spectre détecte une valeur de crête. Le tracé bleu représente le résultat obtenu en moyenne par l'analyseur de spectre. Le champ du signal de radiodiffusion est largement supérieur à celui des harmoniques du système WPT-EV. En outre, le niveau du bruit ambiant en zone urbaine est élevé. Aucun impact significatif n'a été observé sur le niveau du bruit de fond lors du chargement des véhicules à l'aide du dispositif WPT-EV.

FIGURE A5-11

Résultat des mesures sur les canaux à modulation d'amplitude sans harmonique du système WPT-EV

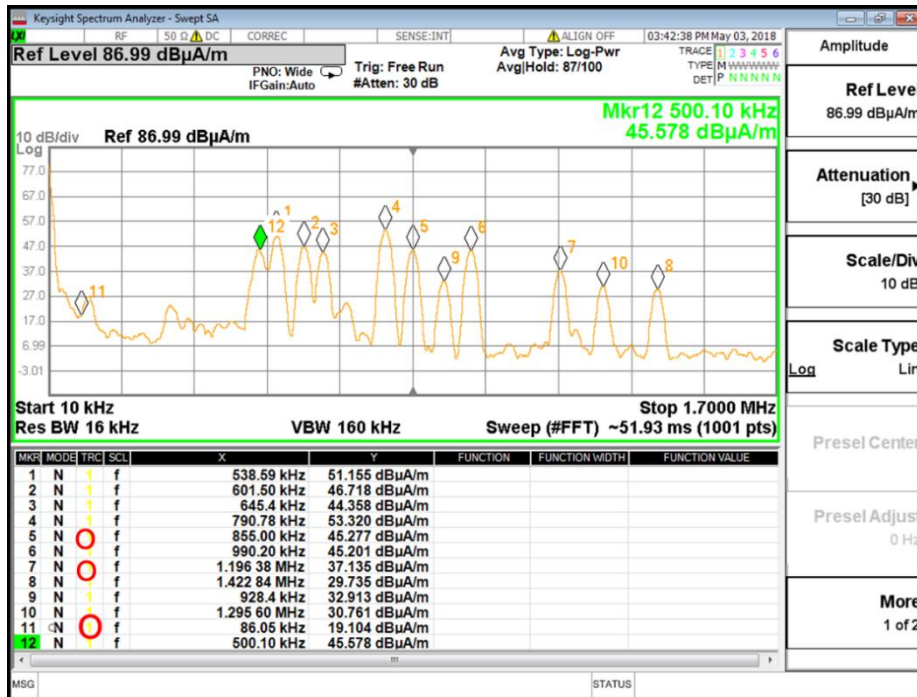


FIGURE A5-12

Détail du résultat des mesures sur les canaux à modulation d'amplitude (855 kHz) sans harmonique du système WPT-EV

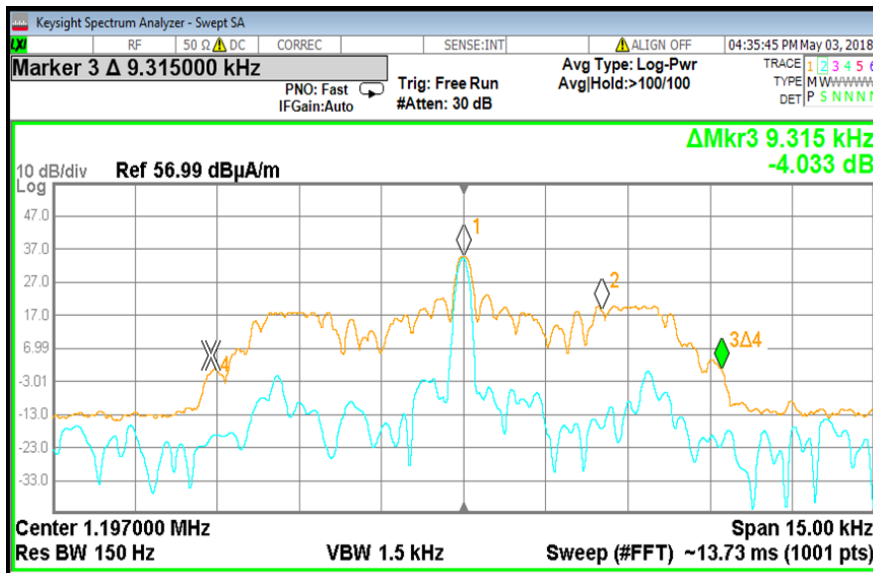


FIGURE A5-13

Détail du résultat des mesures sur les canaux à modulation d'amplitude(855 kHz) en présence d'harmoniques du système WPT-EV (Fréquence de fonctionnement du système WPT-EV de 85,68 kHz) à 10 m

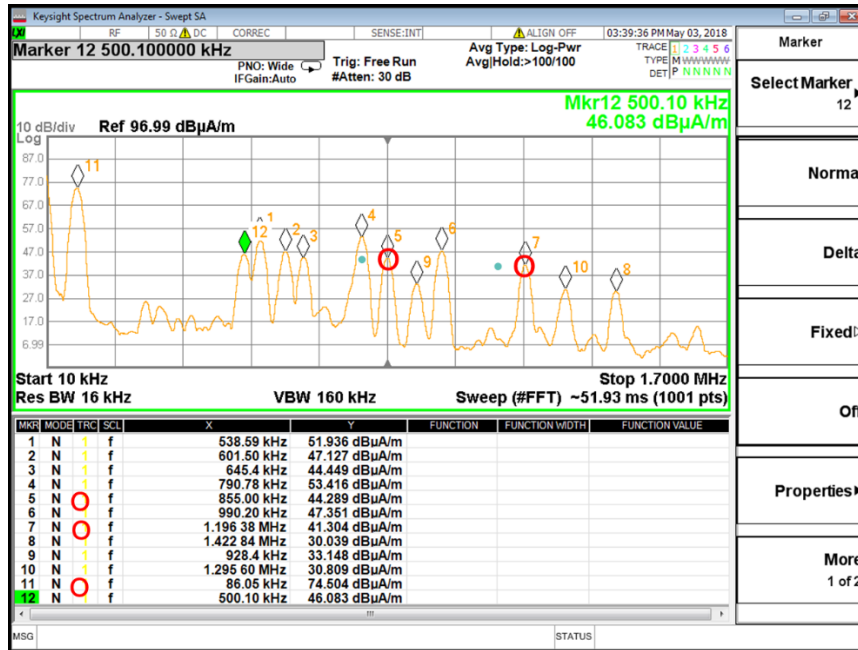


FIGURE A5-14

Détail du résultat des mesures sur les canaux à modulation d'amplitude (1 197 kHz) en présence d'harmoniques du système WPT-EV (Fréquence de fonctionnement du système WPT-EV de 85,68 kHz) à 10 m

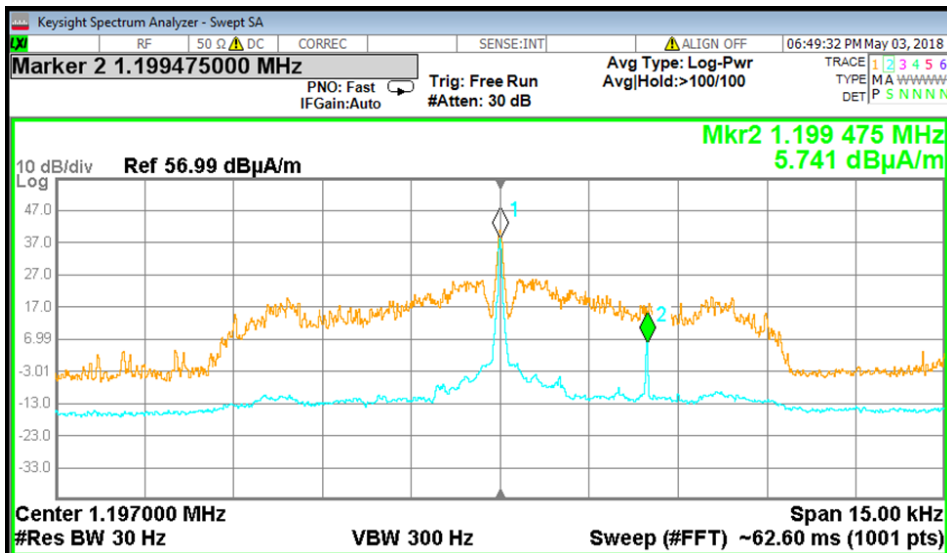
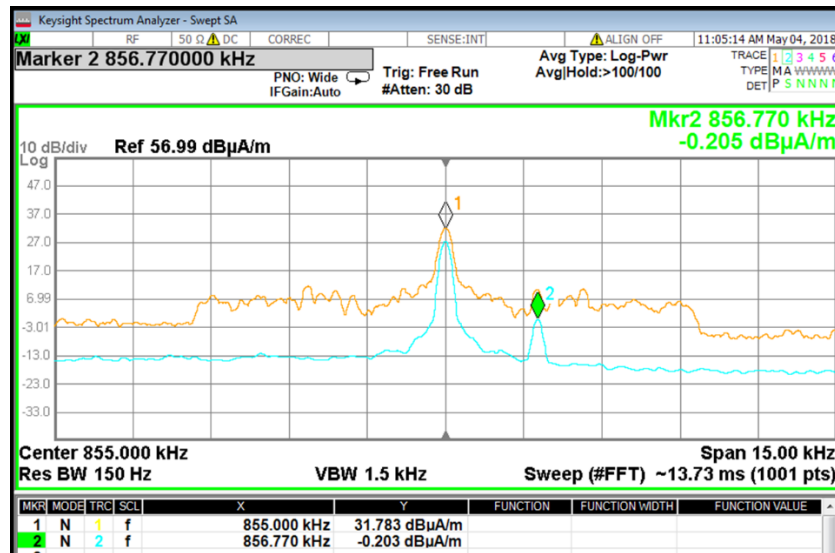


FIGURE A5-15

Détail du résultat des mesures sur les canaux à modulation d'amplitude (à 855 kHz) en présence d'harmoniques du système WPT-EV (Fréquence de fonctionnement du système WPT-EV de 85,65 kHz) à 4,3 m



Lorsque la fréquence de fonctionnement du chargeur WPT-EV est réglée à 85,5 kHz, l'harmonique de 10^{ème} rang sera égale à 855 kHz et passera dans l'écart central entre la bande latérale inférieure et la bande latérale supérieure du canal de radiodiffusion MA de 855 kHz. Selon la Fig. A5-16, la largeur de l'écart central du canal de 9 kHz est d'environ 100 Hz (± 50 kHz de la fréquence centrale). Le tracé orange indique le résultat lorsque l'analyseur de spectre détecte une valeur de crête. Le tracé bleu indique le résultat lorsque l'analyseur de spectre détecte la valeur moyenne.

La forme d'onde du canal de radiodiffusion de 855 kHz a été mesurée lorsque le chargeur WPT-EV était sous tension, comme illustré en Fig. A5-17, qui représente le détail de la mesure obtenue par l'analyseur de spectre. De la même manière, le tracé orange correspond au résultat lorsque l'analyseur de spectre détecte une valeur de crête. On peut observer que les harmoniques passant dans l'écart central n'ont eu aucun impact sur la démodulation des signaux audio de la bande latérale inférieure ou de la bande latérale supérieure. Aucun impact n'a été relevé également sur la qualité du son lors de l'essai subjectif.

FIGURE A5-16

Détail du résultat des mesures sur les canaux MA (à 855 kHz) en l'absence d'harmonique du système WPT-EV

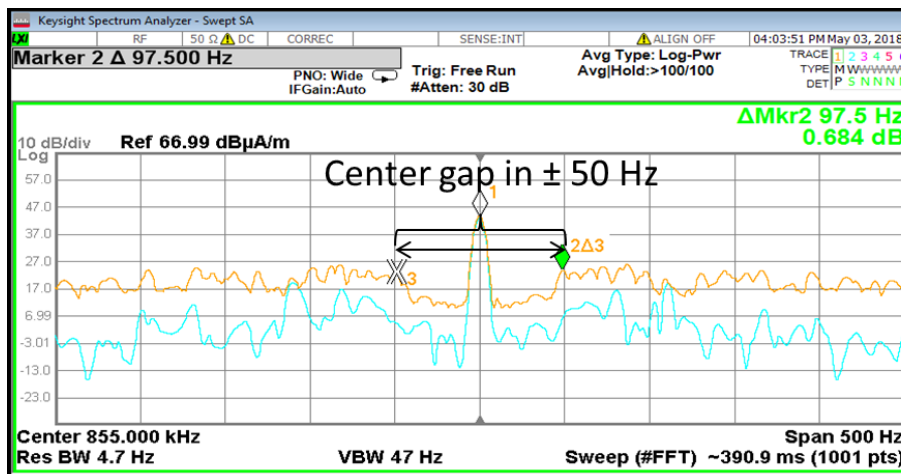


TABLEAU A5-4

Résumé des résultats des essais sur le terrain

Informations relatives aux fréquences					Qualité de la radio avant le chargement			Qualité de la radio pendant le chargement		
Distance (m)	Fréq. du syst. WPT (kHz)	Canal N°	Fréq. canal (kHz)	Décalage par rapport au centre de la fréq. du canal MA (kHz)	Champ E MA (dBµV/m)	Champ H MA (dBµA/m)	QS de radio	Champ H préjudiciable (dBµA/m) QS de radio Rapport signal/bruit par le champ H (dB)		
10	85,2	37	855	-3	94,2	42,7	5	< 2	5	40,0
10	85,5	37	855	0	94,2	42,7	5	Intérieur de porteuse MA	5	Identification impossible
3	85,5	37	855	0	94,2	42,7	5	Intérieur de porteuse MA	5	Identification impossible
10	85,5	75	1 197	0	86,6	35,1	4	Intérieur de porteuse MA	4	Identification impossible
3	85,5	75	1 197	0	86,6	35,1	4	Intérieur de porteuse MA	4	Identification impossible
10	85,68	37	855	1,8	94,2	42,7	5	6,3	5	36,4
5	85,68	37	855	1,8	94,2	42,7	5	14,0	5	28,7
4,3	85,68	37	855	1,8	83,3	31,8	5	5,3	5	26,5
10	85,68	75	1 197	2,52	86,6	35,1	4	3,0	4	32,1
5	85,68	75	1 197	2,52	86,6	35,1	4	6,2	4	28,9
4,6	85,68	75	1 197	2,52	86,6	35,1	4	6,8	4	28,3
3,4	85,68	75	1 197	2,52	86,6	35,1	4	11,2	4	23,9

Pendant les essais sur le terrain, on a examiné le champ MA et il s'est avéré qu'il doit être supérieur à 80 dBµV/m si l'on souhaite que la note de la qualité du son de la radio soit supérieure à 3 dans un environnement urbain traditionnel. Dans les zones urbaines, les signaux MA doivent être supérieurs à ceux des zones rurales en raison d'un bruit ambiant supérieur et d'une perte par propagation.

- Les signaux MA dans les zones urbaines sont généralement supérieurs à 80 dBµV/m.
- Les signaux MA dans les zones suburbaines se situent généralement dans une plage de 70 dBµV/m à 80 dBµV/m.
- Les signaux MA dans les zones rurales se situent généralement dans une plage de 60 dBµV/m à 70 dBµV/m.

L'analyse théorique est effectuée avec un niveau de signal MA ajusté, qui est plus réaliste en termes de bruit ambiant dans des zones urbaines, suburbaines et rurales. Les résultats sont illustrés dans le Tableau A5-5. La marge est exprimée sous forme de l'équation (4) et est une négative de la définition de «l'écart» donnée dans l'équation (3).

$$\text{Marge} = \text{Champ minimal du récepteur Rx avec des qualités de son acceptables} \\ \text{Champ E des harmoniques du système WPT-EV} - 26 \text{ dB} \quad (4)$$

TABLEAU A5-5

Analyse de la marge de protection et du champ E avec un espace libre de 10 m dans des couvertures de zones urbaines, suburbaines et rurales traditionnelles

Fréquence (MHz)	Limite des rayonnements non essentiels norme EN 303 417 (dB μ A/m @ 10 m)	Rapport E/H (dB Ω)	Limite du champ E transformé (dB μ V/m @ 10 m)	Champ minimal du récepteur Rx MA avec une qualité de son acceptable (dB μ V/m)	Marge (dB)
0,531	9,29	32,51	41,80	80,00 (zone urbaine)	12,20
1,062	6,28	38,84	45,12		8,88
1,602	4,50	42,9	47,40		6,6
0,531	9,29	32,51	41,80	70,00 (zone suburbaine)	2,2
1,062	6,28	38,84	45,12		-1,12
1,602	4,50	42,9	47,40		-3,4
0,531	9,29	32,51	41,80	60,00 (zone rurale)	-7,8
1,062	6,28	38,84	45,12		-11,12
1,602	4,50	42,9	47,40		-13,40

Étant donné qu'en conditions urbaines, toutes les valeurs de marge sont supérieures à 0, cela signifie que les harmoniques des systèmes WPT-EV respectant la limite définie par la norme ESTI EN 303 417 ne seront pas une source de brouillage pour la radio en modulation d'amplitude dans les zones urbaines. En ce qui concerne les scénarios de zones suburbaines et rurales, les essais sur le terrain n'ont pas été effectués, et l'analyse a été menée selon le niveau de signal modulé en amplitude prédit. En outre, dans les zones suburbaines et rurales, étant donné que la valeur de la marge dans certains canaux est inférieure à 0, il pourrait s'avérer nécessaire de prévoir un affaiblissement supérieur, notamment un affaiblissement de 13,4 dB de plus au comme valeur maximale. Ce phénomène peut s'expliquer par la perte par pénétration dans le mur du garage. L'affaiblissement au niveau du mur peut être d'environ 17 dB selon l'essai sur le terrain effectué à Shanghai.

A5.1.4 Multiples stations de systèmes WPT-EV

On a effectué une simulation de Monte Carlo pour évaluer le brouillage cumulatif des harmoniques générées par de multiples stations WPT-EV, rechargeant toutes les véhicules au même moment.

A5.1.4.1 Topologie et hypothèses

S'agissant du brouillage cumulatif, le scénario urbain est évalué en tant que scénario classique. Pour les zones suburbaines et rurales, il n'est pas nécessaire d'examiner le cas de multiples systèmes WPT-EV, car c'est un cas très rare dans de telles zones.

En Chine, un garage souterrain dans un sous-sol de bâtiment constitue le scénario classique d'une zone urbaine. Le récepteur radio est placé sur le sol. De multiples stations WPT-EV sont mises en marche simultanément pour recharger des véhicules. Comme illustré en Fig. A5-18, deux couches entourent la voiture centrale (illustrée au centre d'un cercle rouge, et située directement au-dessous de la radio), soit un total de 25 voitures. On effectue une simulation de quatre couches entourant la voiture centrale, soit un total de 81 voitures.

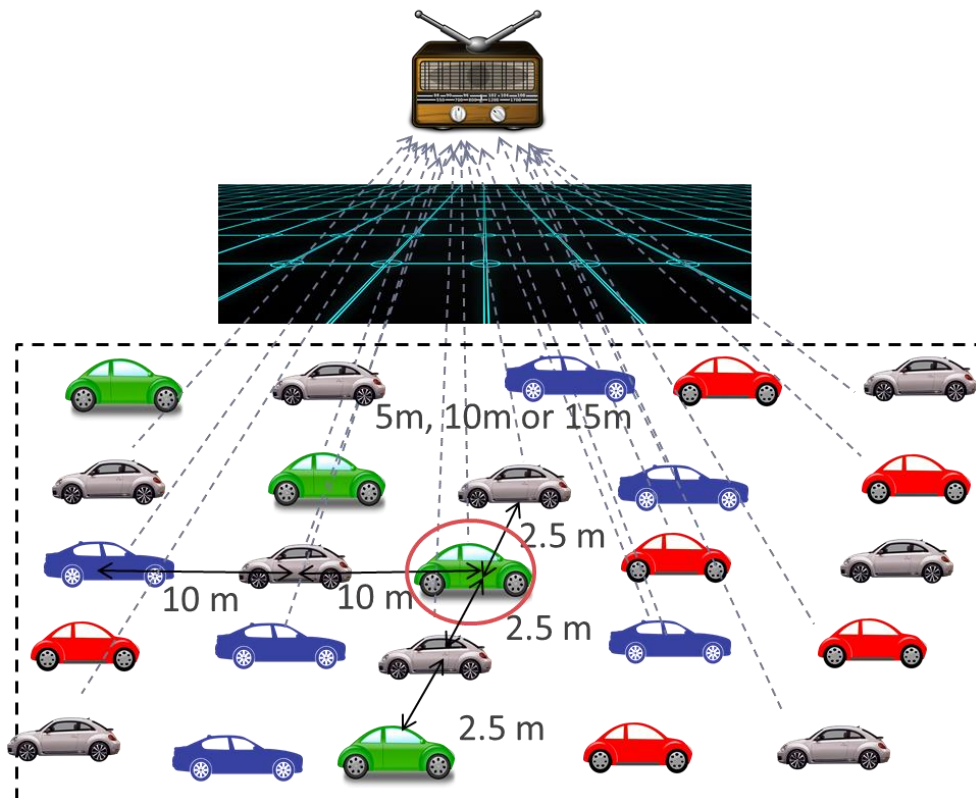
Selon les hypothèses, la largeur de l'aire de stationnement est de 2,5 mètres, la largeur de l'allée est de 5 mètres et la longueur de véhicule est de 5 mètres. Les chargeurs WPT-EV dans l'allée sont censés se situer au moins à 10 mètres les uns des autres. La hauteur entre la radio et le premier étage en sous-sol est de 10 mètres. La hauteur entre la radio et le troisième étage en sous-sol est de 15 mètres.

Le garage souterrain étant pourvu de sols en ciment, les pénétrations des sols en ciment seront prises en compte. La perte par pénétration est normalement répartie de manière aléatoire $N(\mu, \sigma^2)$. μ est la valeur moyenne et on suppose qu'elle est égale à 17 dB selon la mesure sur le terrain. σ est l'écart type et on suppose qu'il est égal à 4 dB selon une étude universitaire réalisée dans d'autres gammes de fréquences. Les pertes par pénétration de chaque étage seront ajoutées séparément.

Dans la simulation, on suppose qu'un très grand nombre de systèmes a été mis en place car chaque aire de stationnement est censée être dotée d'un système WPT-EV qui fonctionne en même temps que les autres. Compte tenu du taux de pénétration et de la différence de durée des chargements, la densité des stations WPT-EV rechargeant simultanément les véhicules devrait être inférieure à l'hypothèse de simulation. En réalité, le brouillage devrait être moins important.

FIGURE A5-18

Topologie du brouillage cumulatif des harmoniques émanant de multiples systèmes WPT-EV, selon la simulation de Monte Carlo



A5.1.4.2 Méthodologie de simulation de Monte Carlo

La simulation se compose d'un grand nombre de configurations instantanées. Les étapes à suivre pour obtenir chaque configuration sont décrites en détail ci-après:

Étape 1: Réglez le champ E de la voiture centrale sur la valeur centrale illustrée dans le Tableau A5-1. Par exemple, il est de 41,8 dB μ V/m à une distance de 10 mètres et une fréquence de 531 kHz, et désignez le par E_1 , dans un domaine linéaire. En conséquence,

$$E_1 = 10^{\frac{41.8}{20}} \quad (5)$$

Pour 1,062 MHz, $E_1 = 10^{45.12/20}$. Pour 1,602 MHz, $E_1 = 10^{47.4/20}$. E_1 est le champ E de référence.

Étape 2: Pour chaque chargeur WPT-EV, calculez sa distance d_n jusqu'au récepteur radio selon la topologie certaine, tandis que n est la $n^{\text{ième}}$ station WPT-EV. Réglez $d_1 = 10$ m et cela devient la distance de référence.

Étape 3: Calculez le champ E pour chaque chargeur WPT-EV E_n en fonction de la distance et le champ E de la voiture centrale (avec la distance minimale). Étant donné que le champ E est un vecteur, ajoutez-lui une phase aléatoire. φ est une valeur aléatoire uniformément distribuée comprise entre 0 et 360 degrés.

$$E_n = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d_n}\right)^2}}{d_n} \times E_1 \times (\cos(\varphi) + j\sin(\varphi)) \quad (6)$$

$$\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d_1}\right)^2}}{d_1}$$

Tandis que $\lambda = 300/f$, f est la fréquence(MHz).

Étape 4: Pour chaque liaison, réduisez la perte par pénétration des sols.

$$E_n = E_n * 10^{(-\text{Perte}_{\text{penetration_dB}})/20} \quad (7)$$

Étape 5: Calculez le brouillage cumulatif pour la configuration instantanée m^{th} f.

$$E_{\text{cumulatif}, m_{\text{ème_instantané}}} = \sum_n E_n \quad (8)$$

$$E_{\text{cumulative}_{\text{dB}\mu\text{V}}, m_{\text{ème_instantané}}} = 20 \times \log_{10}(|\sum_n E_n|) \quad (9)$$

Étape 6: Calculez la valeur moyenne $E_{\text{moyenne br. cumulatif}_{\text{dB}\mu\text{V}}}$. Notez qu'elle doit être ajoutée dans le domaine linéaire pour la moyenne arithmétique, puis convertissez la dans le domaine logarithmique.

$$E_{\text{moyenne_cumulatif}_{\text{dB}\mu\text{V}}} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\sum_m [E_{\text{moyenne}, m_{\text{ème_instantané}}}]}{\text{total_instantané_num}} \right) \quad (10)$$

Tandis que $\text{total_instantané_num}$ est le nombre total de configurations instantanées de la simulation.

A5.1.4.3 Résultats de la simulation

Les brouillages cumulatifs de multiples stations WPT-EV lorsqu'elles sont situées dans les garages B1, B2 et B3 sont simulés séparément. Les résultats de la simulation sont résumés dans les Tableaux A5-6, A5-7 et A5-8 ci-après.

TABLEAU A5-6

Résultats de la simulation du champ E cumulatif des harmoniques
du système WPT-EV en zone urbaine pour l'étage B1

Fréquence de l'harmonique (MHz)	Nombre de stations WPT-EV rechargeant les véhicules	Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du récepteur radio (dB μ V/m)	Champ Min du récepteur RX modulé en amplitude avec une qualité de son acceptable (dB μ V/m)	Rapport signal/brouillage Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du champ Min du récepteur RX modulé en amplitude) (dB)
0,531	25	30,6	80,00 (zone urbaine)	49,4
	49	31,3		48,7
	81	31,6		48,4
1,062	25	33,9	80,00 (zone urbaine)	46,1
	49	34,7		45,3
	81	35,0		45,0
1,602	25	36,3	80,00 (zone urbaine)	43,7
	49	37,0		43,0
	81	37,4		42,6

TABLEAU A5-7

Résultats de la simulation du champ E cumulatif des harmoniques
du système WPT-EV en zone urbaine pour l'étage B2

Fréquence de l'harmonique (MHz)	Nombre de stations WPT-EV rechargeant les véhicules	Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du récepteur radio (dB μ V/m)	Champ Min du récepteur RX modulé en amplitude avec une qualité de son acceptable (dB μ V/m)	Rapport signal/brouillage Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du champ Min du récepteur RX modulé en amplitude) (dB)
0,531	25	18,6	80,00 (zone urbaine)	61,4
	49	20,3		59,7
	81	21,2		58,8
1,062	25	22,0	80,00 (zone urbaine)	58,0
	49	23,8		56,2
	81	24,7		55,3
1,602	25	24,4	80,00 (zone urbaine)	55,6
	49	26,3		53,7
	81	27,2		52,8

TABLEAU A5-8

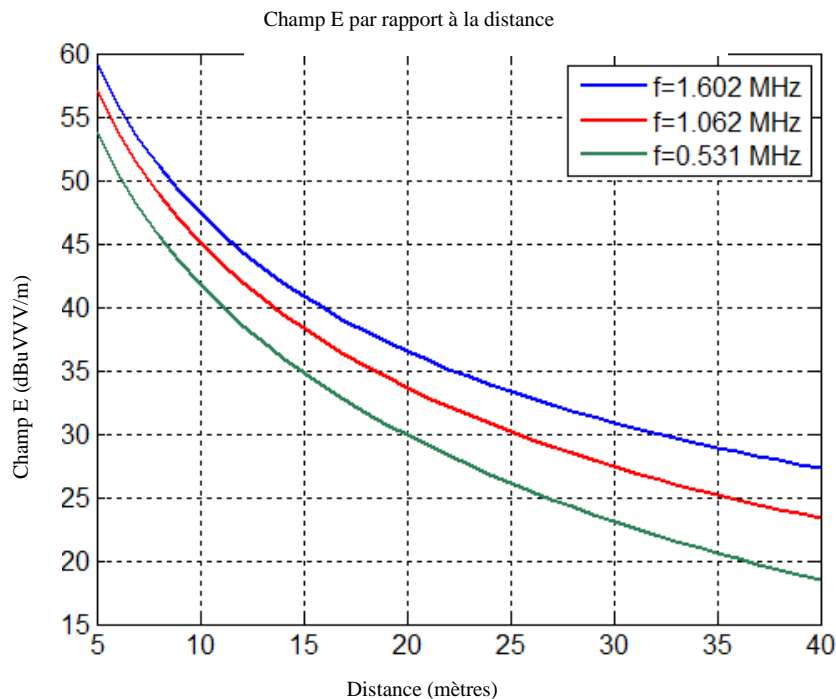
**Résultats de la simulation du champ E cumulatif des harmoniques
du système WPT-EV en zone urbaine pour l'étage B3**

Fréquence de l'harmonique (MHz)	Nombre de stations WPT-EV rechargeant les véhicules	Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du récepteur radio (dB μ V/m)	Champ Min du récepteur RX modulé en amplitude avec une qualité de son acceptable (dB μ V/m)	Rapport signal/brouillage Champ E cumulatif des harmoniques du système WPT-EV au niveau du champ Min du récepteur RX modulé en amplitude (dB)
0,531	25	5,2	80,00 (zone urbaine)	74,8
	49	7,4		72,6
	81	8,7		71,3
1,062	25	8,7	80,00 (zone urbaine)	71,3
	49	10,9		69,1
	81	12,2		67,8
1,602	25	11,1	80,00 (zone urbaine)	68,9
	49	13,5		66,5
	81	14,8		65,2

Tout d'abord, lorsqu'on éloigne le chargeur WPT-EV du récepteur radio, le champ E de ses harmoniques va être naturellement affaibli en raison de l'affaiblissement le long du trajet de la distance supérieure parcourue, comme illustré en Fig. A5-19.

FIGURE A5-19

Affaiblissement du champ E en fonction de la distance dans le champ proche



Dans un deuxième temps, la perte par pénétration dans le sol a renforcé l'affaiblissement. En raison de la perte par pénétration dans les sols de ciment, le brouillage cumulatif dans les étages supérieurs va dominer le brouillage cumulatif total. Par exemple, dans le cas de garages B1/B2/B3 dans un bâtiment, le brouillage cumulatif de l'étage B1 dans lequel se trouve le système WPT-EV est d'environ 12 dB supérieur à celui de l'étage B2 et d'environ 22 dB supérieur à celui de l'étage B3. Dans ce cas, le brouillage cumulatif émanant de l'étage B1 sera celui qui dominera.

Si l'on prend, à titre d'exemple, des fréquences de 1,602 MHz:

- Le brouillage cumulatif de l'étage B1 avec 81 chargeurs WPT-EV est de 37,4 dB μ V/m.
- Le brouillage cumulatif des étages B1 et B2 avec 182 chargeurs WPT-EV est de 39,7 dB μ V/m.
- Le brouillage cumulatif total des étages B1, B2 et B3 avec 243 chargeurs WPT-EV est de 40,2 dB μ V/m.

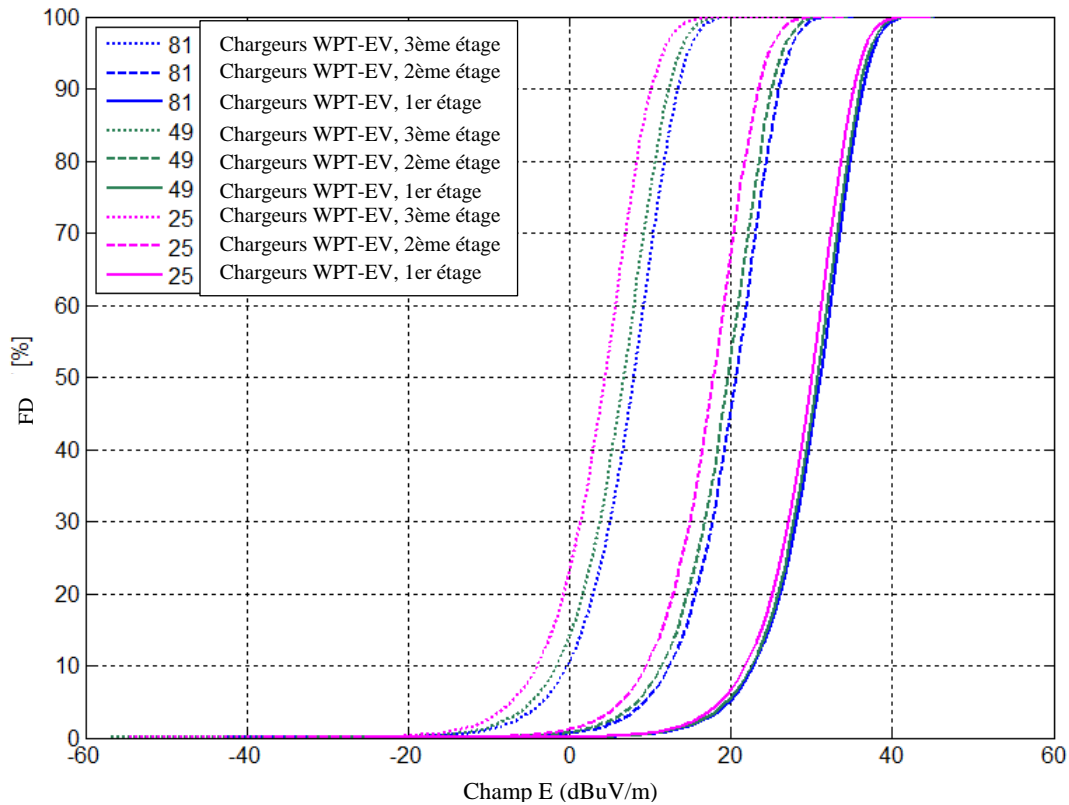
Le rapport signal/brouillage au niveau du récepteur radio pour les étages B1/B2/B3 est d'environ 39,8 dB et est largement supérieur à 26 dB. Si les garages en sous-sol sont disposés en commençant par l'étage B2 et des étages inférieurs, en envisageant des fréquences de 1,602 MHz et 81 chargeurs WPT-EV par étage, le brouillage cumulatif total de B1 et B2 avec 182 chargeurs WPT-EV est de 29,1 dB μ V/m; le rapport signal/brouillage au niveau du récepteur radio des étages B2/B3 est d'environ 50,9 dB et est largement supérieur à 26 dB.

La Fig. A5-20 illustre la courbe de fonction de distribution cumulative (FDC) du brouillage cumulatif des harmoniques émises par un système WPT-EV et présente davantage de statistiques des brouillages cumulatifs. Même dans le pire scénario (81 chargeurs WPT-EV à l'étage B1), 99% du brouillage cumulatif est inférieur à 40 dB μ V/m et le rapport signal/brouillage est encore supérieur à 40 dB en zone urbaine.

FIGURE A5-20

Courbe de la fonction CDF du brouillage cumulatif des harmoniques émanant de multiples chargeurs WPT-EV

Courbe de la fonction CDF du champ E cumulatif, $f = 0,531$ MHz



En conséquence, on peut conclure que le brouillage cumulatif des harmoniques émises par de multiples chargeurs WPT-EV ne provoquera pas de brouillage préjudiciable sur un récepteur radio dans des zones urbaines.

A5.2 Étude d'impact des systèmes WPT-EV sur le système Loran de la Chine

Dans la présente étude, on a analysé les émissions des systèmes WPT pour véhicules utilitaires légers électriques lors de la coexistence d'un système Loran-C à des fréquences de 90-110 kHz. L'objectif était de recenser et de quantifier les risques de brouillage avec le service utilisé en Chine fondé sur le système Loran-C.

Le Groupe de travail 8 de la commission technique 5 de la China Communications Standards Association (CCSA) a suggéré que les critères de protection et les caractéristiques techniques du système Loran C/Chayka se fondent sur la Recommandation UIT-R M.589-3 [8][9][10]. En même temps, dans l'édition [9] il est souligné que la Chine planifiait de mener des recherches sur le système eLoran. Cette contribution est uniquement censée étudier la coexistence entre les systèmes WPT-EV et le système Loran-C (ou d'autres systèmes présentant des critères de protection similaires).

On a appliqué une méthode d'évaluation prudente consistant à effectuer une extrapolation du champ H au champ E à une distance éloignée, à l'aide d'une décroissance du champ $E/H + H$ de 60 dB/dec. Cette approche d'évaluation est largement utilisée et mise en œuvre.

Dans le cadre de cette étude, plusieurs facteurs clés ont été traités. On se proposait également d'examiner la gamme de fréquences de 79-90 kHz utilisée pour les opérations de recharge, y compris leurs 2èmes harmoniques. On a utilisé les spécifications techniques figurant dans les Recommandations UIT-R M.589-3 [8] et UIT-R P.372-13 [10], ainsi que la contribution de la CCSA sur les systèmes Loran-C et eLoran [9], etc. Le niveau de signal le plus faible (45 dB μ V/m) à la limite de couverture a dû être utilisé.

Cette étude a permis de conclure qu'il n'existait pas de risque de brouillage provoqué par des chargeurs WPT-EV, utilisés seuls ou en configuration multiple, fonctionnant dans une plage de fréquences de 79-90 kHz sur des récepteurs Loran situés dans une couverture marine. Les chargeurs WPT-EV doivent se situer dans une gamme de puissances définie par le document CIS/B/687/CDV et respecter les limites d'émissions rayonnées du champ H définies dans ce document.

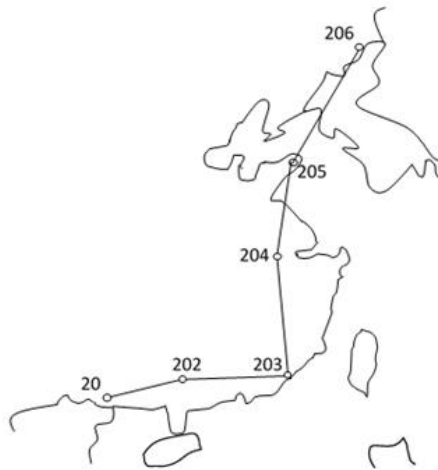
A5.2.1 Système Loran de la Chine et critères de protection du récepteur

A5.2.1.1 Système Loran: vue générale

La Fig. A5-21 [9] illustre l'emplacement des émetteurs des systèmes Loran-C. Il existe six émetteurs Loran placés le long des côtes Est et Sud, et trois chaînes couvrent les mers du Nord, de l'Est et du Sud. La puissance moyenne de l'émetteur est de 40 kW (5 km sur terre). La plage de couverture est de 900-1 300 milles marins.

FIGURE A5-21

Emplacements des stations du système Loran-C en Chine

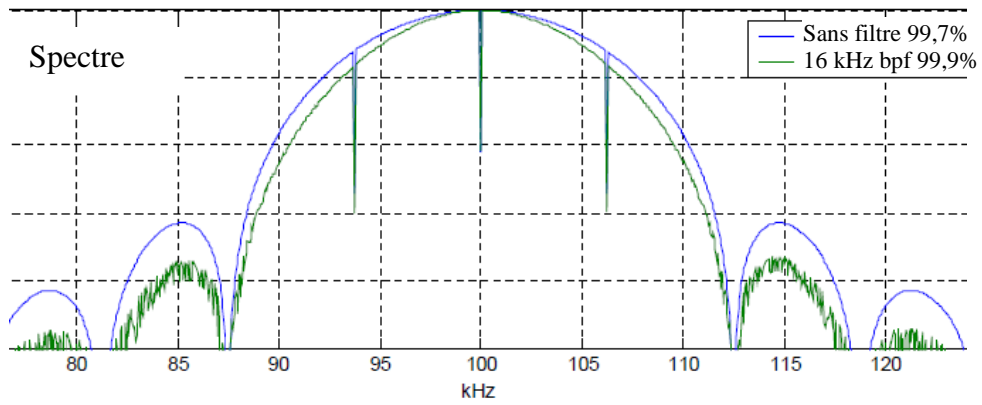


Les caractéristiques techniques du signal Loran-C sont illustrées dans la Fig. A5-22. Le signal est centré (> 99%) à 100 kHz avec une largeur de bande de 20 kHz. Il peut encore fonctionner avec un bruit ambiant de 10 dB sur le signal.

Cela nécessite un rapport signal/bruit dans la bande de 20 dB pour conserver la qualité de la démodulation.

FIGURE A5-22

Démonstration de la forme d'onde du signal du système Loran-C



A5.2.1.2 Critères de protection

Les critères de protection contre le brouillage dans la bande et hors bande sont illustrés dans les Fig. A5-23 et A5-24 [8].

Nous avons employé la courbe correspondant au pire scénario (quasi synchrone) pour évaluer le risque de brouillage.

FIGURE A5-23

Critères de protection Loran-C/onde entretenue

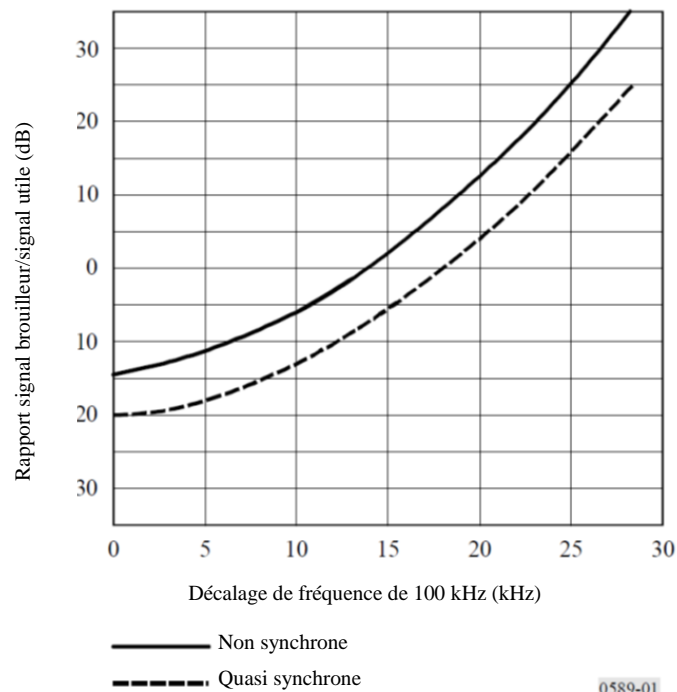
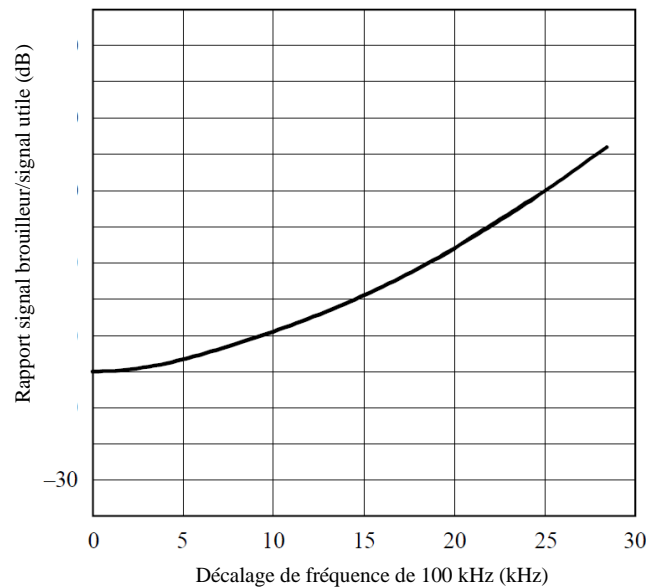


FIGURE A5-24

**Critères de protection Loran-C /FSK
(modulation par déplacement de fréquence)**



0589-02

A5.2.2 Étude de coexistence

A5.2.2.1 Caractéristiques techniques des systèmes WPT-EV

Le Conseil de l'électricité de Chine (CEC) a réalisé l'étude d'utilisation des fréquences sur les fréquences d'un système WPT prévu pour des voitures particulières et des véhicules commerciaux légers. Les conclusions de cette étude ont montré que la gamme de fréquences de 79-90 kHz est le choix le plus approprié pour ces applications en Chine.

Le système WPT-EV n'est pas un service radio et sa puissance électrique est essentiellement transférée du chargeur au véhicule par le biais d'un couplage magnétique local à une très courte distance. Les réglementations relatives aux dispositifs radioélectriques à courte portée ou toute autre réglementation concernant les services radio ne devraient pas être appliquées aux systèmes WPT dans la mesure où il n'y a pas de transfert de données et de communications dans le processus de fonctionnement du système WPT.

Dans le cadre de notre étude de coexistence, la limite proposée par le CISPR de 82,8 dB μ A/m est appliquée comme valeur d'amplitude de crête à la fréquence de fonctionnement. Selon les résultats des mesures, l'amplitude de crête est dérivée pour tout autre décalage de fréquence. Le niveau d'émissions rayonnées de la mise en oeuvre réelle devrait être inférieur à la limite proposée par le CISPR. En conséquence dans notre étude nous avons traité des pires scénarios en termes d'émissions rayonnées.

A5.2.2.2 Affaiblissement du signal Loran selon la distance

Dans la présente étude, nous avons appliqué un modèle d'émission isotrope. La puissance du signal au niveau de l'émetteur est très forte et le système peut couvrir des milliers de kilomètres. Selon la Recommandation UIT-R M.589-3 [8], on devrait avoir une valeur minimale de 45 dB μ V/m à la limite de couverture dans la gamme de fréquences de 90-110 kHz.

À 79-90 kHz, les émissions du système WPT doivent être inférieures à la puissance du signal Loran et respecter les critères de protection contre le brouillage énoncés dans la Recommandation [12].

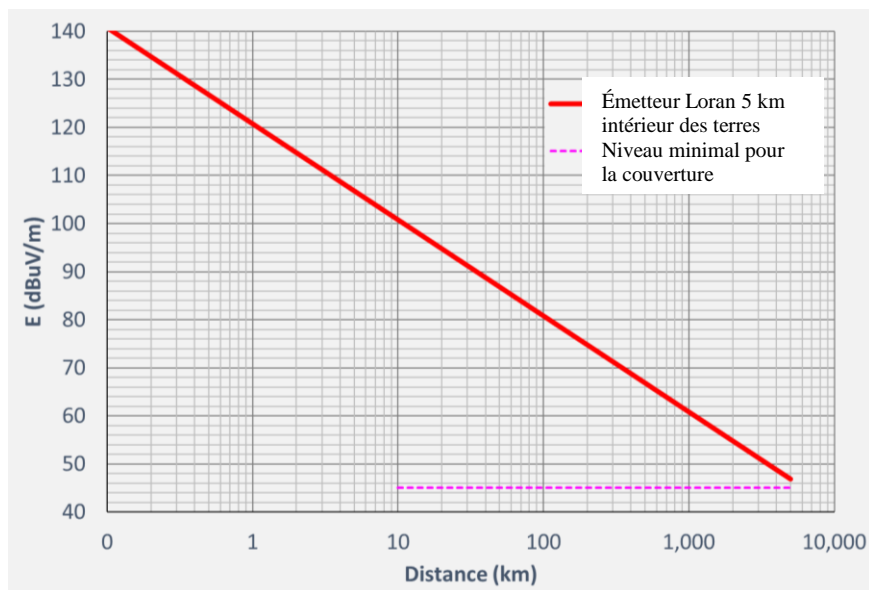
TABLEAU A5-9

**Niveau de puissance du signal Loran pour assurer une protection
contre le brouillage à diverses fréquences**

Fréquence (kHz)	Champ E min de couverture (dB μ V/m)	Critères de protection du signal Loran-C/onde entretenue (rapport signal/bruit quasi synchrone)	Bruit acceptable au niveau du récepteur Loran-C/onde entretenue (dB μ V/m)
81,38	45	4	49
81	45	2	47
85	45	-5	40
88	45	-10	35
90	45	-13	32

FIGURE A5-25

Champ typique du système Loran en Chine (40 kW)

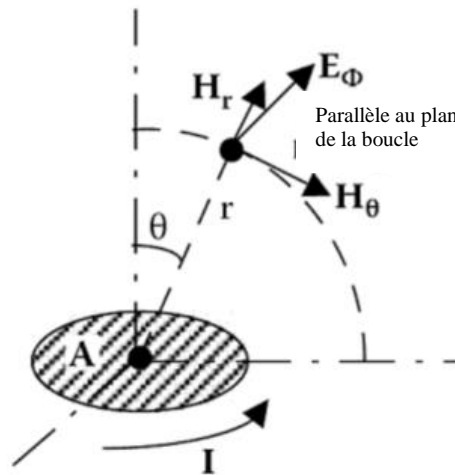


A5.2.2.3 Analyse des données

Étant donné que la source d'émission du système WPT-EV est une bobine, le champ H va dominer les émissions dans le champ proche. Le champ H décroît de manière différente en fonction de la distance selon les conditions du sol, par exemple s'il s'agit de terre ou d'eau. Pour une simple évaluation, la condition dans un espace libre représente le pire scénario. Il est possible de démontrer que les champ H vont décroître de 60 dB/dec au niveau de la région du champ proche, définie par $\lambda/2\pi$ progressivement jusqu'à 20 dB/dec au niveau de la région du champ lointain. Au niveau de chaque région, le champ E émanant d'un chargeur WPT-EV est converti par le rapport E/H comme illustré en Fig. A5-7. Le rapport E/H et les émissions sont évalués sur la base d'un modèle à cadre situé dans un espace libre. Le modèle est vérifié par mesures et par simulation. La petite antenne-cadre est un modèle en boucle fermée comme illustré dans la Fig. A5-26.

FIGURE A5-26

Rayonnement d'une petite antenne-cadre, formant boucle



S'agissant des rayonnements émis par le modèle à petite boucle, les champs E et H peuvent être approximativement décrits comme suit [14]:

$$E_{\phi}(V/m) = \pi Z_0 \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2} \sin \theta \quad (11)$$

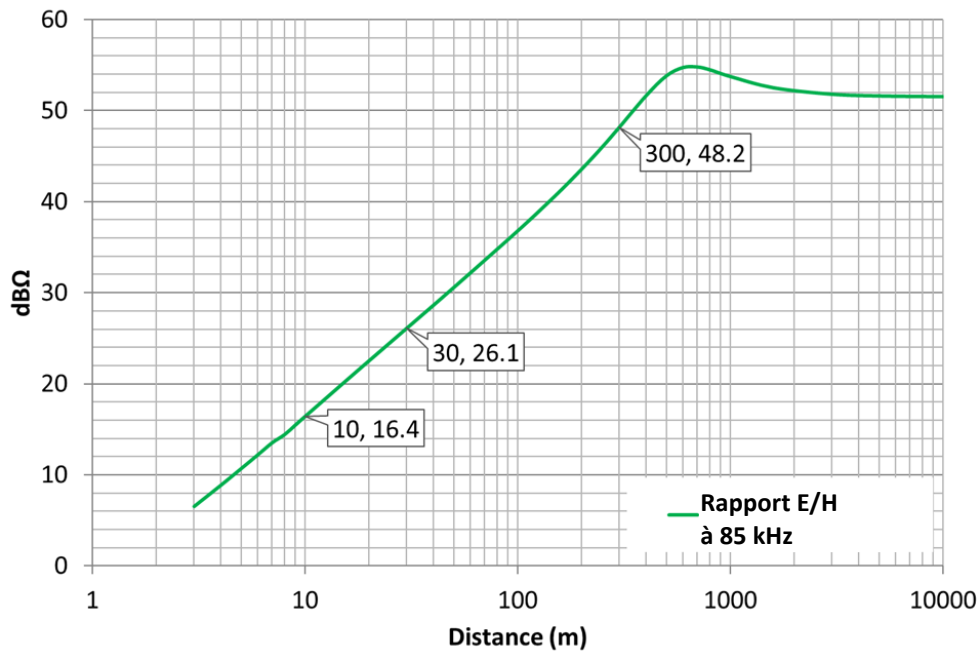
$$H_{\theta}(A/m) = \pi \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^4} \sin \theta \quad (12)$$

Où:

- I : est le courant de la boucle (A , ampère);
- A : est la surface de la boucle (m^2);
- λ : est la longueur d'onde (m), $\lambda = 300/f$, f est la fréquence (MHz);
- r : est la distance jusqu'au point d'observation (m); et
- Z_0 : est l'impédance dans l'espace libre, 377Ω .

FIGURE A5-27

Rapport des champs E/H en fonction de la distance, par boucle dans l'espace libre



À partir de ce modèle, on peut conclure que le champ H, qui est dominé par le système WPT, décroît de 60 dB/dec jusqu'à l'extrémité de la région du champ proche, située à une valeur proche de $\lambda/2 \pi$. Puis, dans la zone de transition, la valeur de décroissance devient progressivement égale à 20 dB/dec au niveau de la région du champ lointain. Dans la mesure où l'eau de mer peut être considérée comme pratiquement conductrice, son impact se situe entre celui d'un conducteur électrique parfait et celui de l'espace libre. En conséquence, la décroissance globale du champ H et du Champ E est plus rapide que dans le modèle d'espace libre pur, ce qui se traduit par une décroissance qui se situe entre celle de l'espace libre et celle d'un conducteur électrique parfait, comme illustré dans la Fig. A5-28.

FIGURE A5-28

Champ E par unité At (ampère-tour) provenant de la boucle formant source

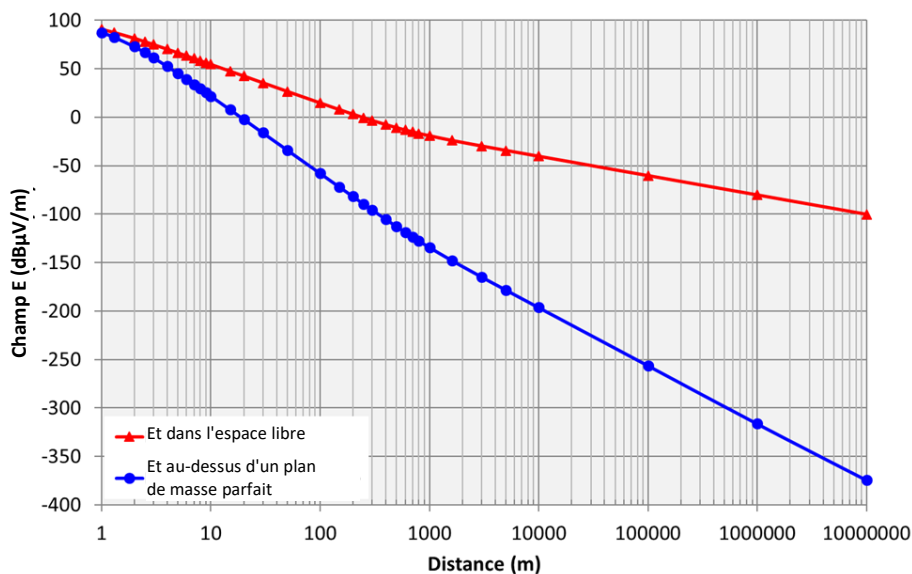


TABLEAU A5-10

**Force du signal du système WPT-E à diverses fréquences
et selon différentes distances**

Paramètres du système Loran				Coex à 10 m			
Fréq. (kHz)	Champ E min. de la couverture (dB μ V/m)	Critères de protection du système Loran-C/onde entretenue (signal/bruit quasi synch.)	Champ E acceptable au niveau du récepteur Loran-C/onde entretenue	Rapport E/H à 10 m par modèle de boucle	H à 10 m (dB μ A/m) (EV à 7kW)	Champ E transformé à 10 m (dB μ V/m)	Marge à 10 m (dB)
81,38	45	2	47	16,00	22	38,0	9,00
85	45	-5	40	16,42	22	38,4	1,58
88	45	-10	35	16,72	22	38,7	-3,72
90	45	-13	32	16,92	82	98,9	-66,92
95	45	-18	27	17,39	22	39,4	-12,39
100	45	-20	25	17,83	22	39,8	-14,83
170	45	60	105	22,45	52	74,5	30,55

Paramètres du système Loran				Coex à 100 m			
Fréq. (kHz)	Champ E min. de la couverture (dB μ V/m)	Critères de protection du système Loran-C/onde entretenue (signal/bruit quasi synch.)	Champ E acceptable au niveau du récepteur Loran-C/onde entretenue	Rapport E/H à 100 m par modèle de boucle	H à 100 m (dB μ A/m) (EV à 7kW)	Champ E transformé à 100 m (dB μ V/m)	Marge à 100 m (dB)
81,38	45	2	47	36,4	-38	-1,60	48,60
85	45	-5	40	36,8	-38	-1,20	41,20
88	45	-10	35	37,1	-38	-0,90	35,90
90	45	-13	32	37,3	22	59,30	-27,30
95	45	-18	27	37,8	-38	-0,20	27,20
100	45	-20	25	37,8	-38	0,30	24,70
170	45	60	105	43,6	-8	35,60	69,40

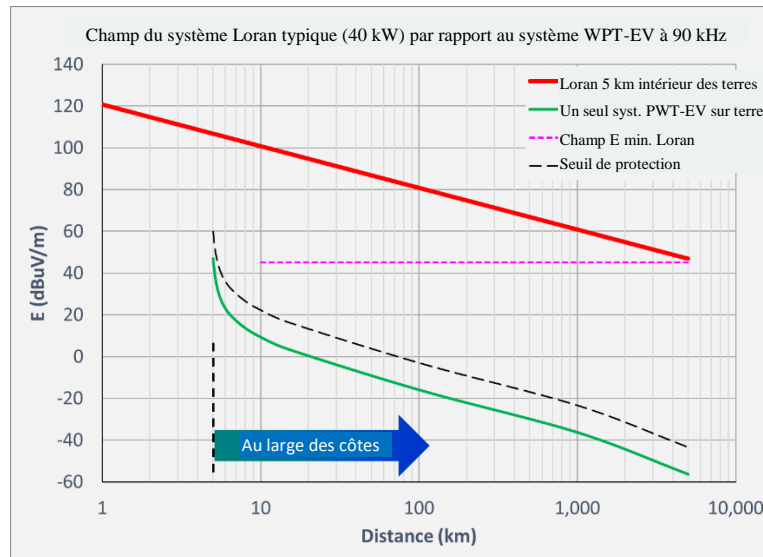
Paramètres du système Loran				Coex à 1 km			
Fréq. (kHz)	Champ E min. de la couverture (dB μ V/m)	Critères de protection du système Loran-C/onde entretenue (signal/bruit quasi synch.)	Champ E acceptable au niveau du récepteur Loran-C/onde entretenue	Rapport E/H à 1 km par modèle de boucle	H à 1 km (dB μ A/m) (EV à 7kW)	Champ E transformé à 1 km (dB μ V/m)	Marge à 1 km (dB)
81,38	45	2	47	53,4	-98	-44,60	91,60
85	45	-5	40	53,7	-98	-44,30	84,30
88	45	-10	35	53,7	-98	-44,30	79,30
90	45	-13	32	53,6	-98	15,60	16,40
95	45	-18	27	53,4	-98	-44,60	71,60
100	45	-20	25	53,3	-98	-44,70	69,70
170	45	60	105	53,2	-68	-14,80	119,80

A5.2.3.3.1 Un seul système EV-WPT

Le signal Loran (rouge) est largement supérieur au signal du système WPT (vert) dans la totalité de la couverture offshore. Les fréquences préjudiciables et les harmoniques du signal du système WPT sont au moins de 40 dB inférieures au signal WPT, ce qui respectent les critères de protection prévus pour les pires scénarios à 90 kHz. De ce fait, il n'y a aucun risque de brouillage pour les récepteurs Loran offshore. Même le signal Loran minimal au niveau de la limite de couverture est largement supérieur aux critères de protection contre les émissions atténuées du système WPT-EV, comme illustré en Fig. A5-29.

FIGURE A5-29

Champ du système Loran typique en Chine et émissions d'un seul système WPT-EV

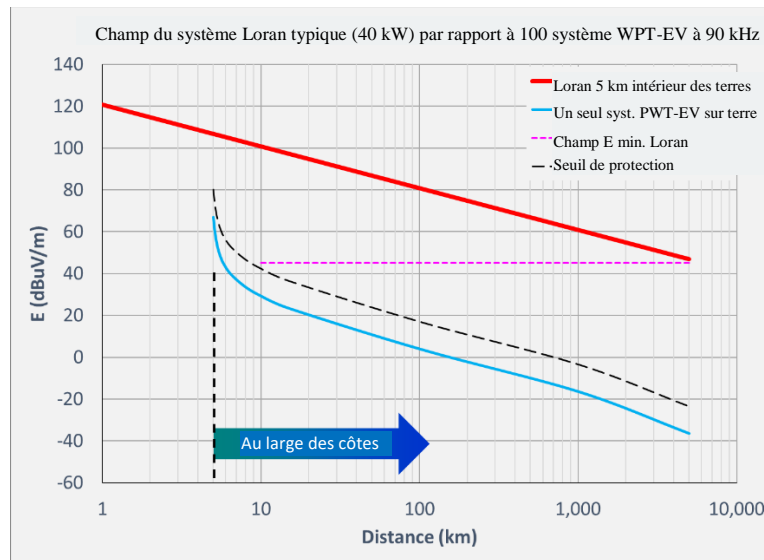


A5.2.3.3.2 Multiples systèmes WPT -EV

Dans le pire des scénarios, on suppose que cent systèmes WPT-EV fonctionnent en même temps sur le même site. Les émissions sont cumulées dans leur totalité par tous les systèmes WPT (le cumul réel serait largement inférieur en raison de la différence de distances, de phases, et de durées de fonctionnement de chaque système). Comme illustré en Fig. A5-29, le signal Loran (rouge) est largement supérieur (~ 70 dB) aux émissions combinées de multiples systèmes WPT à 79-90 kHz (bleu clair) à toutes les distances, sauf à proximité du système WPT. En outre, les fréquences préjudiciables et les harmoniques 79-90 kHz combinées, provenant des multiples systèmes WPT, seront au moins inférieures de 40 dB aux signaux combinés émis par les systèmes WPT. En conséquence, il n'y aurait aucun risque de brouillage des récepteurs Loran offshore.

FIGURE A5-30

Champ du système Loran typique en Chine et émissions de multiples systèmes WPT-EV



A5.2.3 Conclusion

Dans le cadre de notre étude, nous avons examiné les émissions et le champ de la gamme de fréquences de 79-90 kHz lors des opérations de chargement, y compris les 2èmes harmoniques des systèmes WPT-EV. Les critères de protection prévus pour le système Loran-C renvoient aux Recommandations UIT-R M.589-3 et UIT-R P.372-13. Il a été nécessaire d'utiliser le plus faible niveau de signal (45 dB μ V/m) au niveau de la limite de couverture des récepteurs Loran. Cela a permis d'énoncer les conclusions ci-après:

S'agissant du fonctionnement d'un seul système WPT-EV, il n'y a aucun risque de brouillage des récepteurs Loran, placés sous une couverture maritime, lors de l'opération de chargement effectuée par le système WPT-EV.

En ce qui concerne de multiples systèmes WPT-EV, il n'existe aucun risque de brouillage des récepteurs Loran dû aux émissions de multiples systèmes WPT-EV tant sur un seul site que sur de multiples sites à l'intérieur des terres.

Pour un seul chargeur WPT-EV, les fréquences préjudiciables et les harmoniques du système WPT seront inférieures d'au moins 40 dB au signal émis par le système WPT. En conséquence, il n'y aurait aucun risque de brouillage des récepteurs Loran offshore causé par les émissions de fréquences préjudiciables et des harmoniques du système WPT-EV.

Pour de multiples chargeurs WPT-EV, les fréquences préjudiciables et les harmoniques combinées des systèmes WPT seront inférieures d'au moins 40 dB aux signaux combinés émis par les systèmes WPT. En conséquence, il n'y aurait aucun risque de brouillage des récepteurs Loran offshore causé par les émissions de fréquences préjudiciables et des harmoniques des systèmes WPT-EV. Les conclusions susmentionnées s'appliquent à de multiples chargeurs WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz dans la gamme de puissance définies dans le Document CIS/B/687/CDV et respectant les limites d'émissions rayonnées du champ H définies dans celui-ci.

A5.3 Références

- [1] Recommandation UIT-R BS.560-4 – *Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques.*
- [2] Recommandation UIT-R BS.703-0 – *Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification.*
- [3] Norme chinoise nationale, GB 2017-80, «MF broadcast network coverage technology» (technologie de couverture du réseau de radiodiffusion en ondes hectométriques).
- [4] Norme ESTI EN 303 417 V1.1.1 (2017) «Wireless power transmission systems, using technologies other than radio frequency beam, in the 19-21 kHz, 59-61 kHz, 79-90 kHz, 100-300 kHz, 6 765-6 795 kHz ranges; Harmonized Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU».
- [5] Xingcun Colin Tong, «Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding».
- [6] Recommandation UIT-R BS.1284-1 – *Méthodes générales d'évaluation subjective de la qualité du son.*
- [7] SCHWENGLER, T.; GILBERT, M., «Propagation Models at 5.8 GHz – Path Loss & Building Penetration», [Radio and Wireless Conference, 2000. RAWCON 2000. 2000 IEEE.](#)
- [8] Recommandation UIT-R M.589-3 – *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.*
- [9] TC5_WG8_2017_080, «Loran-C and e-Loran».
- [10] Recommandation UIT-R P.372-13 – Bruit radioélectrique.
- [11] Rapport UIT-R SM.2303 – *Transmission d'énergie sans fil au moyen de techniques autres que la transmission par radiofréquences.*
- [12] CISPR 11: Norme nationale de la République populaire de Chine «Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment Electromagnetic disturbance characteristics Limits and methods of measurement», GB 4824-2004.
- [13] Document CIS/B/687/CDV, «Supplement of CISPR 11 with requirements for air-gap wireless power transfer (WPT) – Comments on the limit values for Class B equipment in frequency ranges of 9 kHz to 150 kHz».
- [14] COLIN TONG, X., «Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding».

Annexe 6

Études d'impact en Corée pour les systèmes WPT-EV avec une fréquence de fonctionnement comprise entre 19-21 kHz/55-65 kHz

A6.1 Études d'impact des systèmes WPT-EV dont les fréquences de fonctionnement sont comprises entre 19-21 kHz/55-65 kHz sur le service des fréquences étalon et des signaux horaires

A6.1.1 Introduction

La république de Corée a mesuré la puissance des émissions d'un système WPT dans la gamme de fréquences comprises entre 9 kHz et 30 MHz et les résultats des mesures ont été fournis lors de la dernière réunion du GT 1B1 de l'UIT-R WP 1B

Le Tableau 6/9.1.6-2 (voir § 6) indique la bande de fréquences de chacune des applications du système WPT. En outre selon une Note de l'éditeur du § 6. «Conclusions», d'autres études d'impact sont nécessaires aux fréquences 55-5X kHz, 6Y-65 kHz aux fins de déterminer les valeurs de X et de Y.

A6.1.2 Affaiblissement en vue de protéger les fréquences étalon et les signaux horaires

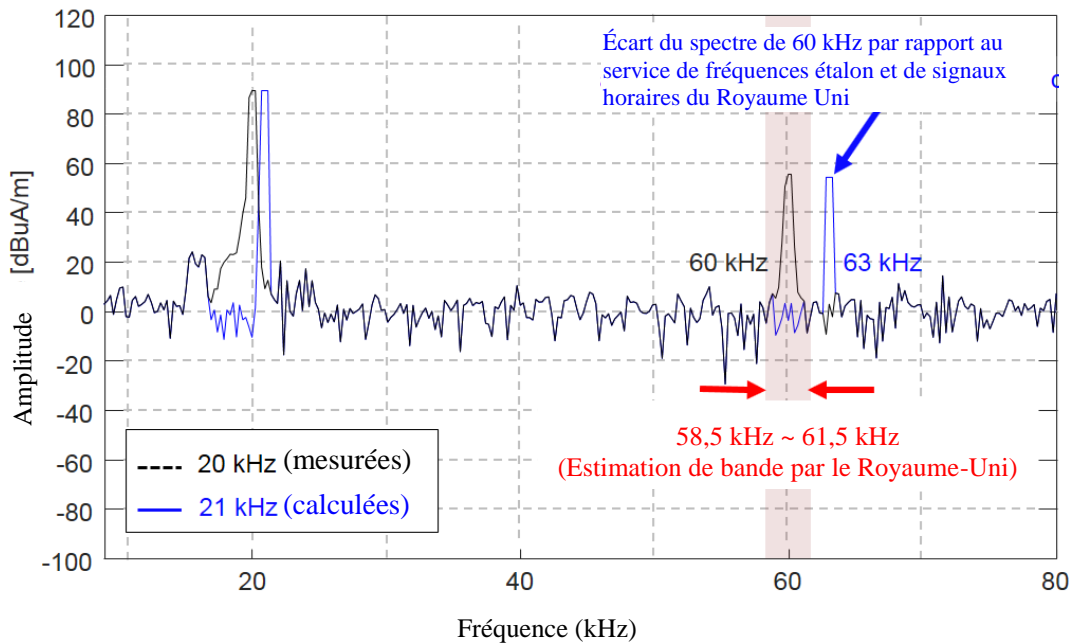
Selon le Tableau 9 de la Recommandation 70-03 du CER, la bande de fréquences de 60 kHz du services des fréquences étalon et des signaux horaires du Royaume-Uni utilise une largeur de bande de 250 kHz (59,75 kHz ~ 60,25 kHz) et le champ maximal à une distance de 10 m est de 42 dB μ A/m.

Plus la largeur de bande de protection des fréquences étalon et des signaux horaires est importante, plus la protection est élevée. De ce fait, à titre de facteur de sécurité, la largeur de bande de protection doit au minimum être égale à cinq ou six fois la largeur de bande de 250 Hz compte tenu de la coexistence avec le système WPT pour poids lourds électriques.

Afin de garantir un facteur de sécurité, elle pourrait être égale à six fois cette largeur de bande, soit être égale à environ 1 500 Hz.

En conséquence, la République de Corée propose que la valeur de X soit égale à 58,5 kHz et la valeur de Y à 61,5 kHz.

FIGURE A6-1
Technique d'atténuation



Outre la proposition mentionnée plus haut, afin d'éviter tout brouillage entre le système WPT et les fréquences étalon et les signaux horaires de 60 kHz du Royaume Uni, il serait préférable d'utiliser une fréquence supérieure comme 63 kHz dans un pays utilisant un service de fréquences étalon et de signaux horaires de 60 kHz.

La Fig. A6-1 montre les résultats d'une technique d'atténuation avec un décalage de fréquence de 63 kHz.

A6.2 Études d'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 19-21 kHz/ 55-65 kHz sur les services de radiodiffusion sonore modulés en amplitude

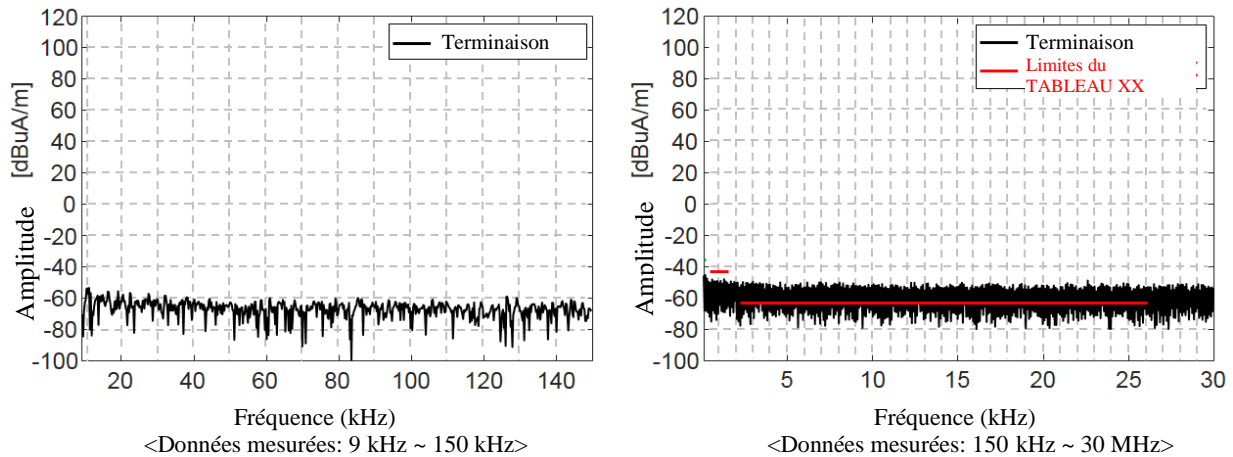
A6.2.1 Introduction

Dans la mesure où l'UER a proposé la valeur de $-47,5$ dBuA/m comme limite de la radiodiffusion sonore, la République de Corée a effectué une analyse du brouillage entre la radiodiffusion MA et les systèmes WPT pour poids lourds électriques.

A6.2.2 Analyse de brouillage entre la radiodiffusion modulée en amplitude et le système WPT-EV

FIGURE A6-2

Analyse du brouillage entre la radiodiffusion MA et le système WPT pour poids lourds électriques (terminaison du matériel)



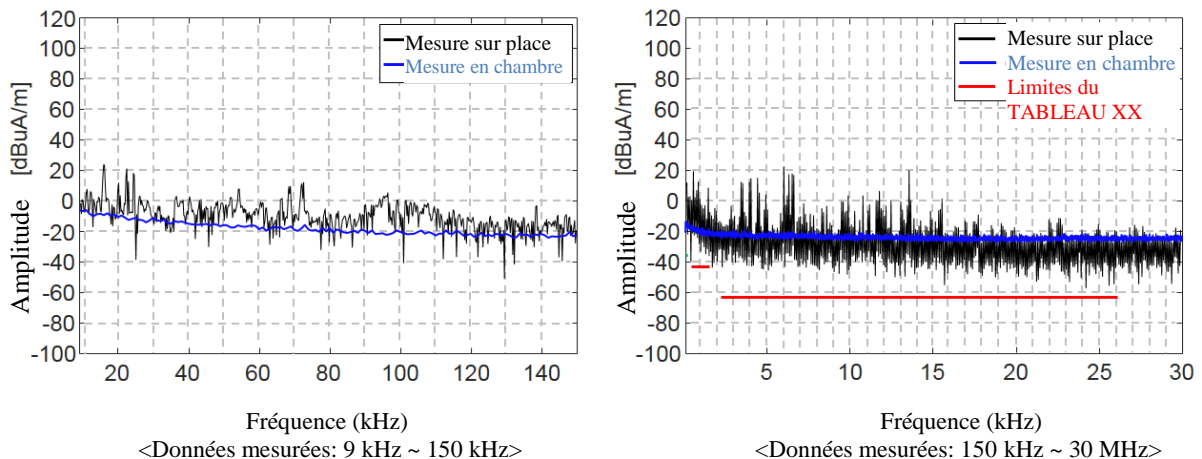
Afin de suivre le brouillage entre la radiodiffusion modulée en amplitude et le système WPT prévu pour recharger les poids lourds électriques, le récepteur de mesure du brouillage électromagnétique (EMI) (Keysight E4440A) présente une terminaison à 50 [Ω], le facteur d'antenne n'est pas pris en compte en raison d'absence de connexion à l'antenne-cadre.

Selon le Tableau 6, la limite des harmoniques du système WPT à une puissance élevée de ce système se situe à -37 dBuA/m à une distance de 10 m

En dépit de la terminaison du récepteur de mesure du brouillage électromagnétique, il semble que les valeurs soient semblables à -56 dBuA et -60 dBuA. Cela signifie que la limite est pratiquement égale au propre bruit du récepteur de mesure du brouillage électromagnétique (EMI).

FIGURE A6-3

Analyse du brouillage entre la radiodiffusion MA et le système WPT pour poids lourds électriques (bruit ambiant)



Dans la mesure où le récepteur de mesure du brouillage électromagnétique (EMI) (Keysight E4440A) est connecté à l'antenne-cadre, on considère que le facteur d'antenne est d'environ 20 dB. Comme illustré dans le Tableau 7, la limite des harmoniques du système WPT à une puissance élevée du système WPT est d'environ -7 dB μ A/m à une distance de 10 m.

Il semble que l'on obtienne des valeurs similaires à 0 dB μ A et -20 dB μ A dans des conditions de bruit ambiant réel; En conséquence, les résultats des mesures sont supérieurs, de manière significative, à la limite, et ce, quelle que soit la charge qu'effectue le système WPT pour poids lourds électriques. Cela montre que la limite du Tableau 7 ne se conforme pas à un bruit ambiant réel.

A6.2.3 Analyse d'atténuation de la radiodiffusion sonore modulée en amplitude

La radiodiffusion sonore modulée en amplitude doit être protégée en toute sécurité. Les techniques d'atténuation sont les suivantes:

A6.2.3.1 Effet de brouillage entre le système WPT et la radiodiffusion sonore modulée en amplitude

Il ressort de travaux récemment publiés sur le couplage magnétique, à savoir «Fourier Analysis for Harmonic Signals in Electrical Power Systems»⁴ (Analyse de Fourier pour les signaux avec harmoniques dans les systèmes d'alimentation électrique), que la troisième harmonique représente 20% de la puissance disponible, et la cinquième harmonique représente 10%. Pour aller plus loin, la septième harmonique représente 6% et la neuvième harmonique représente 3%.

Le système WPT pour poids lourds utilise 20 kHz comme fréquence fondamentale. La septième harmonique de 20 kHz est de 140 kHz. La bande la plus faible de radiodiffusion à ondes kilométriques est de 148,5-283,5 kHz. En conséquence, il semble qu'il y ait très peu d'impact en matière de brouillage.

A6.2.3.2 Distance de séparation minimale entre le système WPT et la radiodiffusion sonore modulée en amplitude.

Comme illustré dans le Tableau 7, la distance de séparation minimale est de 10 m et la limite est de -7 dB μ A/m.

Dans le cas d'un système WPT pour poids lourds, il serait proposé de prévoir une distance de séparation minimale de 30 m ou plus afin d'éviter en toute sécurité tout effet de brouillage causé par le système WPT sur la radiodiffusion sonore modulée en amplitude.

À l'heure actuelle, la radiodiffusion modulée en amplitude n'est pas très populaire car il y a en effet un peu de bruit mixte sur les signaux sonores. En outre, la bande d'ondes kilométriques est rarement utilisée, et ne sert que pour les cas d'urgence. Pour cette raison, il est possible de minimiser l'effet de brouillage si l'on prévoit une distance de séparation suffisante.

A6.2.4 Conclusion

La radiodiffusion sonore modulée en amplitude doit être protégée et sa sécurité assurée. La distance de séparation minimale est de 30 m ou plus si nécessaire pour éviter tout effet de brouillage causé par le système WPT sur la radiodiffusion sonore modulée en amplitude.

Il semble qu'il s'agisse là d'une autre approche sage qui puisse être mise en place en tant que politique de réglementation nationale avec les techniques d'atténuation susmentionnées.

⁴ Auteurs: Emmanuel Hernández Mayoral, Miguel Angel Hernández López, Edwin Román Hernández, Hugo Jorge Cortina Marrero, José Rafael Dorrego Portela et Victor Ivan Moreno Oliva. Publication: le 8 février 2017 par [IntechOpen](https://www.intechopen.com/).

Annexe 7

Études d'impact au Japon concernant les système WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz

A7.1 Introduction

On trouvera dans la présente Annexe des études d'impact effectuées au Japon sur la nouvelle règle s'appliquant aux systèmes WPT-EV fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz. L'étude a été effectuée par un groupe de travail chargé de l'élaboration des règles pour les systèmes WPT, dépendant du Ministère des affaires intérieures et des communications au Japon. Ce groupe de travail se composait d'experts en technologie et de représentants des divers domaines concernés y compris du secteur des systèmes WPT, des systèmes radio existants, de la CEM, de l'exposition aux ondes radioélectriques, et des universités. Les résultats de l'étude ont été intégrés dans les réglementations et les lignes directrices pour les fonctionnements des systèmes WPT, et ensuite, la nouvelle règle est entrée en vigueur en mars 2016.

A7.2 Limites d'émission sur les systèmes WPT pour véhicules électriques.

Les limites d'émission pour les systèmes WPT pour véhicules électriques dans le Règlement des radiocommunications sont illustrées dans le Tableau A7-1 en fonction des gammes de fréquences correspondantes.

Lors de la spécification des limites d'émissions rayonnées et conductrices par le Groupe de travail, les normes du CISPR ont été référencées en tenant compte de l'harmonisation réglementaire internationale. Pour certains cas d'utilisation spécifique, dans les opérations des systèmes radio existants dans le spectre concerné, d'autres conditions nationales applicables à la coexistence et des prescriptions dérivées des études d'impact ont été précisées et intégrées dans les limites des émissions, en accord avec les parties prenantes.

Les limites d'émission définissent la puissance admissible des radiofréquences du système WPT et sont énoncées dans les nouvelles règles intitulées «spécification d'homologation», en vertu desquelles l'installation d'équipements individuels pour les systèmes WPT ne nécessite pas d'autorisation.

TABLEAU A7-1

Limites des émissions des systèmes WPT pour les véhicules électriques au Japon

Application cible WPT	Limites des émissions par conduction		Limites des émissions par rayonnement de l'onde fondamentale	Limites des émissions par rayonnement dans d'autres bandes			
	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	79-90 kHz	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	30 MHz - 1 GHz	1-6 GHz
Système WPT pour la recharge de véhicules électriques	Non précisé	0,15-0,50 MHz: Quasi crête 66-56 dB μ V (décroît linéairement en fonction de log(f)) Moyenne 56-46 dB μ V (décroît linéairement en fonction de log(f)), 0,50-5 MHz: Quasi crête 56 dB μ V, Moyenne 46 dB μ V 5-30 MHz: Quasi crête 60 dB μ V, Moyenne 50 dB μ V, sauf bandes ISM	68,4 dB μ A/m à 10 m. (Quasi crête)	23,1 dB μ A/m à 10 m. (Quasi-crête), sauf 79-90 kHz	En se fondant sur la norme CISPR 11 Ed. 5.1, lors de la conversion en valeurs à une distance de 10 m, la limite d'émission décroît linéairement en fonction de log(f) à partir de 39 dB μ A/m à 0,15 MHz, à 3 dB μ A/m à 30 MHz (1). Exception-1: Pour 158-180 kHz, 237-270 kHz, 316-360 kHz, et 3 965-450 kHz, les limites d'émission sont supérieures à (1) de plus de 10 dB. Exception-2: Pour 526,5-1 606,5 kHz, -2,0 dB μ A/m (quasi-crête)	En se fondant sur la norme CISPR 11 Ed. 5.1, les limites suivantes s'appliquent: 30-80,872 MHz: 30 dB μ V/m; 80,872-81,88 MHz: 50 dB μ V/m; 81,88-134,786 MHz: 30 dB μ V/m; 134,786-136,414 MHz: 50 dB μ V/m; 136,414-230 MHz: 30 dB μ V/m; 230-1 000 MHz: 37 dB μ V/m	Non précisé

A7.3 Normalisation des systèmes WPT-EV

Le Groupe de travail sur les techniques WPT du BWF au Japon a été chargé d'élaborer des normes techniques pour les systèmes WPT à l'aide des protocoles d'établissement de normes de l'ARIB. La norme ARIB STD-T113 «systèmes de transmission d'énergie sans fil» est censée couvrir les technologies WPT pour véhicules électriques selon le processus d'établissement de normes du BWF, et ce, dès qu'une spécification WPT -EV est considérée comme normalisée à l'échelle mondiale, en étant visée par les normes CEI 61980 et ISO 19363.

A7.4 Études d'impact des systèmes WPT fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz

A7.4.1 Processus d'évaluation de l'impact et services de radiocommunication/systèmes existants utilisés dans l'étude

Les étapes suivantes ont été suivies:

- 1) Première étape: Étude de l'utilisation du spectre et détermination des plages de fréquences envisageables.

Examen de l'utilisation du spectre des services de radiocommunication existants dans les gammes de fréquences de fonctionnement proposées pour les services WPT, les bandes adjacentes et les autres gammes de fréquences dans lesquelles peuvent se situer les harmoniques du système WPT. Ces services risquent en effet de voir leur qualité se dégrader en raison du fonctionnement des systèmes WPT. Détermination des bandes envisageables pour les systèmes WPT à partir du spectre relativement libéré.

- 2) Deuxième étape: Sélection des systèmes de radiocommunication existants à protéger de préférence.

Choix des systèmes de radiocommunication existants qui risquent de subir une dégradation due aux systèmes WPT dans la(les) bande(s) envisageable(s). Classement par ordre de priorité des systèmes à protéger en clarifiant les attributs des services, conformément aux conditions et/ou situations d'utilisation ci-après:

- La catégorie de gammes de fréquences dans le Règlement des radiocommunications (RR)
- Justification de la protection contre les systèmes WPT
- Mécanisme pour éviter tout brouillage préjudiciable dû au systèmes WPT

Les éléments susmentionnés permettent de choisir les systèmes de radiocommunication existants préférentiels.

- 3) Troisième étape: Évaluation de l'impact des émissions des systèmes WPT sur les services de radiocommunication existants.

L'impact des systèmes WPT sur chaque service de radiocommunication existant sélectionné est évalué par simulation et/ou mesure. Dans le cadre de cette étape, les points suivants devraient être clarifiés.

- Gammes de fréquences de la transmission d'énergie, niveau de puissance et tout autre paramètre ou toute autre caractéristique susceptible d'avoir une incidence sur les services de radiocommunication existants.
- Scénarios d'utilisation des systèmes existants et définition des paramètres, y compris la durée/période de fonctionnement (en particulier, période de chevauchement avec l'utilisation d'un système WPT), distance de séparation physique ou positionnement.
- Force des rayonnements des systèmes WPT: La force maximale devrait être déterminée de manière appropriée en vue d'effectuer les évaluations en se référant aux règlements disponibles ou aux projets de documents élaborés par le Sous-Comité B du CISPR.
- Essais et vérification: la force des rayonnements non désirés calculée ou mesurée au niveau du récepteur concerné ne devrait pas excéder la sensibilité du récepteur ni être source de toute défaillance de fonctionnement. En outre, les scénarios comme la répartition des temps d'utilisation, le chevauchement des périodes de fonctionnement et les emplacements pratiques des dispositifs devraient être pris en considération.

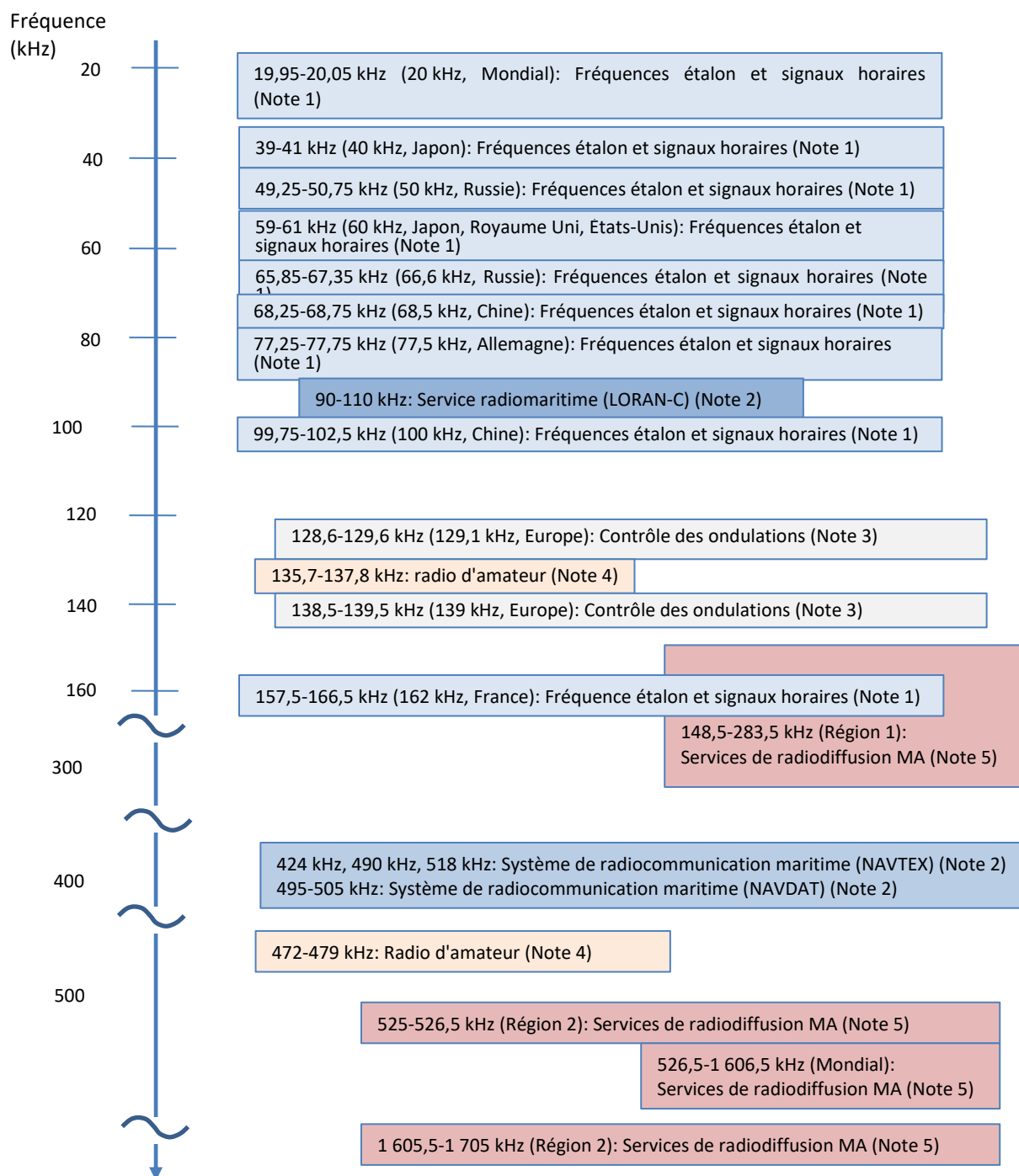
La nécessité d'atténuer l'impact doit faire l'objet de discussions et d'examen en fonction des résultats obtenus au cours des étapes susmentionnées. Il sera alors possible de recommander d'adopter les gammes de fréquences avec une atténuation appropriée de l'impact vérifiée et

confirmée au cours des étapes précédentes, et ces gammes pourront alors être envisagées pour les systèmes WPT pour véhicules électriques, n'utilisant pas de faisceaux.

Les gammes de fréquences pour les systèmes WPT pour véhicules électriques sont censées être inférieures à 150 kHz si l'on tient compte des discussions au sujet de l'élaboration de normes de technologies mondiales pour les systèmes WPT dans le cadre du Comité technique 69/PT61980 de la CEI, du Comité technique 22/PAS 19363 de l'ISO et du groupe de normalisation SAE J2954TF. En outre, les gammes de fréquences des harmoniques ont également été prises en considération lors du choix des gammes de fréquences. L'étude a également porté sur les gammes inférieures à 1 MHz. La Fig. A7-4.1 illustre les résultats de l'étude du spectre, dont les résultats sont présentés dans le Tableau A7-4.1.

FIGURE A7-1

Spectre des services de radiocommunication de 9 kHz à 3 MHz



Note 1 – Modulation d'amplitude (BCD). Horloges et montres qui reçoivent périodiquement les signaux numériques du temps étalon émis par les stations émettrices du signal horaire étalon en vue de se synchroniser et d'ajuster leur heure.

Note 2 – Impulsion, modulation par déplacement de fréquence (MDF) etc. Système radio assurant la sécurité des opérations de navire dans les ports ou en mer.

Note 3 – Système radioélectrique de gestion de la charge/demande d'électricité utilisé dans le réseau électrique.

Note 4 – Service radioélectrique comportant des dispositifs d'émission et de réception utilisé pour la recherche et pour la formation des opérateurs radioamateurs.

Note 5 – Modulation d'amplitude; Service de radiodiffusion audio dont les dispositifs de réception utilisent les ondes moyennes ou longues.

TABLEAU A7-2

Spectre de services de radiocommunication de 9 kHz à 3 MHz

Services et systèmes de radiocommunication		Bandes de fréquences	Modulation	Remarques
Fréquences étalon et signaux horaires		19,95-20,05 kHz (20 kHz, Mondial) 39-41 kHz (40 kHz, Japon) 49,5-50,75 kHz (50 kHz, Russie) 59-61 kHz (60 kHz, Royaume-Uni, États-Unis et Japon) 65,85-67,35 kHz (66,6 kHz, Russie) 68,25-6875 kHz (68,5 kHz, Chine) 77,25-77,75 kHz (77,5 kHz, Allemagne) 99,75-102,5 kHz (100 kHz, Chine) 157,5-166,5 kHz (162 kHz, France)	Modulation d'amplitude (système BCD)	Horloges et montres qui reçoivent périodiquement les signaux numériques du temps étalon émis par les stations émettrices du signal de temps étalon en vue de se synchroniser et d'ajuster leur heure
Contrôle des ondulations		128,6-129,6 kHz (129,1 kHz, Europe) 138,5-139,5 kHz (139 kHz, Europe)	–	Système radioélectrique de gestion de la charge/demande d'électricité utilisé dans le réseau électrique
Système d'avertissement automatique de protection des trains	Systèmes d'arrêt automatique des trains (ATS)	10-250 kHz (Japon)	–	Système de télécommunication consistant à appliquer un courant électrique dans des bobines installées le long des voies ferrées pour détecter le courant électrique qui circule dans des bobines installées dans les wagons afin de contrôler les trains
		425-524 kHz (Japon)	–	
	Systèmes radioélectriques par induction pour les trains (ITRS)	100-250 kHz (Japon)	–	Système de transmission de signaux par couplage inductif entre les lignes de transmission installées le long des voies ferrées, etc., et l'antenne installée sur les wagons
		80 kHz, 92 kHz (Japon, un seul trajet)	–	
Radio d'amateur		135,7-137,8 kHz 472-479 kHz	Modulation d'amplitude, Modulation de fréquence, bande latérale unique, etc.	Systèmes pour le service d'amateur selon la définition du numéro 1.56 du Règlement des radiocommunications, à des fins d'intercommunication pour de l'auto-formation et des études techniques menées par des amateurs
Système de radiocommunication maritime		90-110 kHz (LORAN) 424 kHz, 490 kHz, 518 kHz (NAVTEX) 495-505 kHz (NAVDAT)	Modulation d'impulsion, modulation par déplacement de fréquence, etc.	Système radio assurant la sécurité des opérations de navire dans les ports ou en mer
Radiodiffusion modulée en amplitude		148,5-283,5 kHz (Région 1) 525-526,5 kHz (Région 2) 526,5-1 606,5 kHz (Mondial) 1 605,5-1 705 kHz (Région 2)	Modulation d'amplitude	Systèmes pour les services de radiodiffusion audio dotés de récepteurs utilisant les bandes d'ondes kilométriques et d'ondes hectométriques.

Il ressort de l'étude portant sur les systèmes de radiocommunication existants que les quatre systèmes/services existants devraient être sélectionnés dans le cadre de l'évaluation de l'impact des systèmes WPT pour véhicules particuliers électriques, fonctionnant à des fréquences de 79-90 kHz:

- Services de fréquences étalon et de signaux horaires.
- Systèmes radioélectriques pour les trains (10-250 kHz).
- Services radio d'amateurs (135,7-137,8 kHz).
- Services de radiodiffusion à ondes hectométriques (526,5-1 606,5 kHz).

Les systèmes radioélectriques pour les trains sont exploités dans un environnement unique au Japon. Ils ne sont pas classés dans des catégories distinctes par le Règlement des radiocommunications du Japon. Le Groupe de travail (voir § A7-1) a néanmoins décidé d'évaluer les systèmes radioélectriques pour les trains estimant qu'il s'agissait d'une question de sécurité aux fins d'éviter tout accident pour les usagers des services de trains.

A7.4.2 Impact sur les services de radiodiffusion

A7.4.2.1 Études d'impact décrites dans le Rapport UIT-R SM.2303

S'agissant de l'étude d'impact sur les services de radiodiffusion sonore à ondes hectométriques, les deux approches suivantes sont décrites dans le § 7.2 du Rapport UIT-R SM.2303.

- 1) L'UER et les experts en radiodiffusion de l'UIT-R proposent l'approche ci-après, fondée sur les critères de protection des services de radiodiffusion spécifiés dans les Recommandations UIT-R BS.560 et BS.703. L'étude d'impact s'est axée sur l'environnement radioélectrique dans lequel la sensibilité minimale d'un récepteur de radiodiffusion sonore modulée en amplitude est appliquée à des fins de planification. Les zones correspondantes peuvent être censées présenter des champs faibles de signaux de radiodiffusion. Les champs magnétiques admissibles maximaux au niveau des récepteurs de radiodiffusion dans les bandes à ondes kilométriques et à ondes hectométriques ont été dérivés à l'aide des critères de protection de radiofréquences des services de radiodiffusion illustrés dans les Recommandations et les Rapports UIT-R pertinents. On trouvera des explications détaillées dans le § 7.2.1 du Rapport UIT-R SM.2303.
- 2) Le Japon a proposé une autre approche, à savoir, une étude d'impact axée sur l'environnement radioélectrique dans les zones urbaines comparables à la catégorie environnementale intitulée «Quartier urbain» dans la Recommandation UIT-R P.372-13. Dans cette catégorie, on suppose la présence de bruits environnementaux élevés et moyens et des champs élevés et intermédiaires de signaux de radiodiffusion sonore. La condition de base pour la coexistence dans cette étude d'impact est de garantir que le champ des émissions rayonnées, provenant du système WPT et étant source de brouillage, est inférieur au niveau de bruit ambiant décrit dans la Recommandation UIT-R P.372-13. La limite d'émissions rayonnées a donc été déterminée comme devant être égale à $-2,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ à 10 mètres des systèmes WPT dans le Règlement des radiocommunications du Japon, en tenant compte d'une distance de séparation pratique, d'une perte par propagation due aux murs des maisons et des bâtiments et du bilan des incertitudes au stade des essais et de la conception de l'industrie. Cette approche a été validée par une étude analytique sur les émissions, des mesures des émissions et des essais d'audibilité menés sur des équipements d'essais WPT et des récepteurs de radiodiffusion à ondes hectométriques. On trouvera des explications détaillées de cette approche au § 7.2.2 du Rapport UIT-R SM.2303.

A7.4.2.2 Conditions permettant la coexistence entre les systèmes WPT pour véhicules électriques et les services de radiodiffusion sonore à ondes hectométriques

Aux fins de déterminer les conditions requises, il faut prendre en compte les points ci-après:

- Le champ des émissions rayonnées brouilleuses des systèmes WPT doit être inférieur au niveau du bruit ambiant défini par la Recommandation UIT-R P.372-13, pour diverses catégories d'environnement radioélectrique, au niveau de l'entrée d'une antenne de récepteur radio.
- Chaque administration doit déterminer les limites des émissions rayonnées lorsqu'elle prescrit la ou les distance(s) de séparation minimale(s) entre les systèmes WPT et les récepteurs de radiodiffusion, en prenant en compte la perte par propagation due aux parois des maisons et des bâtiments et d'autres facteurs y compris le bilan des incertitudes dans les étapes de conception et d'essai de ce secteur de l'industrie.

Les points susmentionnés sont expliqués ci-après.

Le Tableau A7-3 illustre un exemple des différentes catégories d'environnement radioélectrique avec des conditions permettant la coexistence entre les systèmes WPT et les services de radiodiffusion sonore à ondes hectométriques, qui sont caractérisées par la distance de séparation, la perte par propagation due aux parois des maisons et des bâtiments, le bilan des incertitudes en matière d'essai et de conception, la force du champ H des systèmes WPT, et les niveaux de bruit ambiant. Les niveaux de bruit ambiant dans la dernière ligne du Tableau A7-3 ont été calculés en se fondant sur les préconisations de la Recommandation UIT-R- P.372-13 dans laquelle les environnements sont classés en environnements radio de «quartier urbain», «quartier résidentiel», «zone rurale» et «zone rurale calme».

Le Groupe de travail a utilisé un environnement de «quartier urbain» pour étudier l'hypothèse de la coexistence d'un système WPT pour véhicules électriques, dans un avenir très proche, et dans un environnement de service de radiodiffusion à ondes hectométriques, dans lequel le niveau de bruit ambiant a été calculé comme étant égal à $-25,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$. Par ailleurs, dans la «zone rurale calme», le niveau de bruit ambiant a été calculé comme étant égal à $-48,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$, ce qui est pratiquement semblable à la limite de $-47,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ proposée pour les émissions par les experts de la radiodiffusion de l'UER/UIT-R, comme illustré au § 7.2.1 du Rapport UIT-R SM.2303. Même si les deux approches que l'UER et le Japon ont adopté sont différentes, les limites d'émissions rayonnées qu'elles ont obtenues toutes deux sont constantes dans l'environnement de zone rurale calme.

La distance de séparation minimale requise pour chaque environnement radioélectrique peut être déterminée aux fins d'assurer que le champ H des émissions des systèmes WPT au niveau d'un récepteur radio soit inférieur au niveau du bruit ambiant. Dans l'étude menée par le Japon, on a supposé l'existence des conditions suivantes pour établir la réglementation nationale applicable aux systèmes WPT pour les véhicules électriques, comme indiqué au § 7.2.2 du Rapport UIT-R SM.2303.

- L'auto-brouillage sort du cadre de cette étude d'impact. On entend par auto-brouillage le fait que le système WPT d'une personne brouille le récepteur de radiodiffusion MA de cette même personne.
- Les récepteurs de radiodiffusion en ondes hectométriques sont situés dans des maisons ou des bâtiments. Par ailleurs, les systèmes WPT pour véhicules électriques sont, eux, situés à l'extérieur des maisons et des bâtiments. L'affaiblissement de propagation dû aux murs des maisons devrait être pris en compte, ce qui, selon les résultats de l'étude japonaise, est estimé à 10 dB.
- La distance de séparation entre un système WPT et un récepteur de radiodiffusion à ondes hectométriques est égale à 10 m, dans l'hypothèse où la maison la plus proche est située à plus de 10 m de la maison du propriétaire du système WPT, dans un quartier urbain.

- On a pris en compte le bilan des incertitudes aux stades de l'essai et de la conception. Cette valeur a été utilisée car en général les fabricants prennent en compte le bilan des incertitudes en utilisant une valeur de 10 dB ou plus pour garantir la performance des émissions aux stades de la conception et des essais et régler les questions de limites de réglementation pour 100% de leurs produits. Le bilan des incertitudes dans le cas présent est estimé à 14 dB d'après les résultats des mesures des systèmes WPT élaborés.

En conséquence, dans la nouvelle réglementation du Japon, les limites des émissions rayonnées applicables aux systèmes WPT pour les véhicules électriques ont été déterminées comme étant égales à $-2,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ à 10 m de distance, dans la gamme de fréquences des services de radiodiffusion sonore en ondes hectométriques.

Cette réglementation peut s'appliquer à un environnement radioélectrique autre qu'un quartier urbain en prenant en compte une distance de séparation appropriée. Les industries de la transmission d'énergie sans fil (WPT) devraient prendre, de manière continue, des mesures d'atténuation permettant que les brouillages restent inférieurs au seuil autorisé, et ce afin d'éviter les perturbations préjudiciables des services de radiodiffusion en milieu suburbain et rural. Si le système WPT cause des brouillages inadmissibles au niveau des récepteurs, les administrations des radiocommunications doivent prendre des mesures réglementaires ou émettre des directives pour faire cesser l'exploitation de ces systèmes WPT qui sont sources de brouillages préjudiciables pour les autres services de radiocommunication existants.

Lors de l'adoption de la réglementation du Japon de $-2,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ à une distance de 10 m, et des autres facteurs incluant la perte par propagation et le bilan des incertitudes, la coexistence entre les systèmes WPT pour véhicules électriques et les services de radiodiffusion peut être assurée en fixant les distances de séparation appropriées à 13 mètres, 16 mètres et 35 mètres pour les environnements radioélectriques de «quartier urbain», «zone rurale» et «zone rurale calme» respectivement.

Les résultats de l'étude montrent que la coexistence est possible pour tout environnement radioélectrique en fixant des distances de séparation appropriées entre les systèmes WPT pour les véhicules électriques et les récepteurs de radiodiffusion en ondes hectométriques.

TABLEAU A7-3

**Exemple de conditions de coexistences entre les systèmes WPT
et les services de radiodiffusion**

Catégories d'environnement radioélectriques dans la Rec. UIT-R P.372-13	A Quartier urbain	B Quartier résidentiel	C Zone rurale	D Zone rurale calme	Remarques
(1) Limites d'émission rayonnées	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	Limites d'émission rayonnées dans la gamme de fréquences à ondes hectométriques selon la réglementation du Japon applicable aux systèmes WPT pour VE
Distance de séparation (m)	10	13	16	35	La distance de séparation de 10 m est définie comme la condition à respecter dans l'étude d'impact dans les zones urbaines. Les distances de séparation dans les zones résidentielles, rurales et rurales calmes ne sont décrites qu'à titre de référence.
(2) Dégradation due à la distance de séparation (dB)	0	4,8	8,6	22,9	Au Japon, le facteur de conversion de la distance de 10 m à 30 m est de 1/10 (= 20 dB) dans la gamme de fréquences du service de radiodiffusion à ondes hectométriques À partir de cette relation (règle de puissance de 2,1ème), le facteur de 10 m à 15 m est de 1/2,3 (= 7,2 dB) Le facteur de 10 m à 20 m est de 1/4,3 (= 12,7 dB)
(3) Affaiblissement par propagation dû aux murs des maisons et des bâtiments (dB)	10	10	10	10	Mentionné dans les résultats du rapport de la table ronde de la conférence du MIC au Japon concernant la préaccoutumance de la radiodiffusion à ondes hectométriques (déc. 1983)
(4) Bilan des incertitudes au stade de la conception et des essais de l'industrie	14	14	14	14	Estimation selon les résultats des mesures des systèmes WPT pour véhicules électriques au Japon
(5) Force du champ H des émissions au niveau du récepteur radio à modulation d'amplitude (dBμA /m)	-26,0	-30,8	-34,6	-48,9	Calculé par (5) = (1)-(2)-(3)-(4)
Niveau du bruit ambiant (dBμA/m)	-25,5	-30,5	-34,5	-48,5	Calculé à 500 kHz par Eq. (7) et Fig.10 dans la Rec. UIT-R P.372-13

A7.4.3 Impact sur les services de fréquences étalon et de signaux horaires

Les dispositifs WPT dont les émissions rayonnées sont inférieures aux limites d'émission décrites dans le Tableau A7-4 ne provoqueront pas de brouillage préjudiciable, qui est défini par C/I dérivé de la sensibilité minimale du récepteur des dispositifs d'horloges radiocommandées utilisant des services de fréquences étalon et de signaux horaires dans des cas d'utilisation approuvés. La distance de séparation de 10 m a été approuvée et utilisée pour évaluer l'impact sur ces dispositifs. En outre, pour ces évaluations, on a également pris des mesures pour que les horaires de fonctionnement prévus pour la réception du service des fréquences étalon et des signaux horaires ne chevauchent pas les horaires de fonctionnement des systèmes WPT-EV, et on a également pris en compte le sens de propagation des ondes du service des fréquences étalon et des signaux horaires et l'amélioration escomptée de la performance des récepteurs pour l'avenir de ces dispositifs. En conclusion, l'étude a permis de confirmer que les systèmes WPT ne provoquent pas de brouillage préjudiciable sur les horloges radiocommandées. Des explications détaillées sont décrites dans les paragraphes a)-d) ci-après.

TABLEAU A7-4

Limites d'émissions rayonnées des systèmes WPT pour véhicules électriques fonctionnant dans une gamme de fréquences de 79-90 kHz dans l'étude du Japon

	Limites des émissions rayonnées
Gamme de fréquences du système WPT (gamme utilisée pour la transmission d'énergie), 79-90 kHz	68,4 dB μ A/m @ 10 m pour une puissance d'émetteur de 3 kW 72,5 dB μ A/m @ 10 m pour une puissance d'émetteur de 7,7 kW
Gamme de fréquences de 526,5-1 606,5 kHz (gamme de fréquences des services de radiodiffusion à ondes hectométriques)	-2,0 dB μ A/m @ 10 m
Autres gammes de fréquences inférieures à 3 MHz prévues pour 526,5-1 606,5 kHz	23,1 dB μ A/m @ 10 m

a) Émissions des systèmes de fréquences étalon et de signaux horaires au Japon

La Fig. A7-2 illustre la couverture des émissions de fréquences étalon et des signaux horaires avec une force de signal émis par deux tours de transmission situées dans la région orientale (la Tour Est de la préfecture de Fukushima) et la région occidentale (Tour Ouest de la préfecture de Saga) au Japon. La tour Est émet des fréquences étalon et des signaux horaires sur 40 kHz et la tour Ouest sur 60 kHz. Les fréquences étalon et les signaux horaires peuvent être reçus partout au niveau des horloges radiocommandées dans le pays, même dans des îles de l'océan situées au large, à une force de signal supérieure à 50 dB μ V/m, et un champ électrique minimal.

FIGURE A7-2

Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires couvrant la totalité du Japon



Extrait de NICT

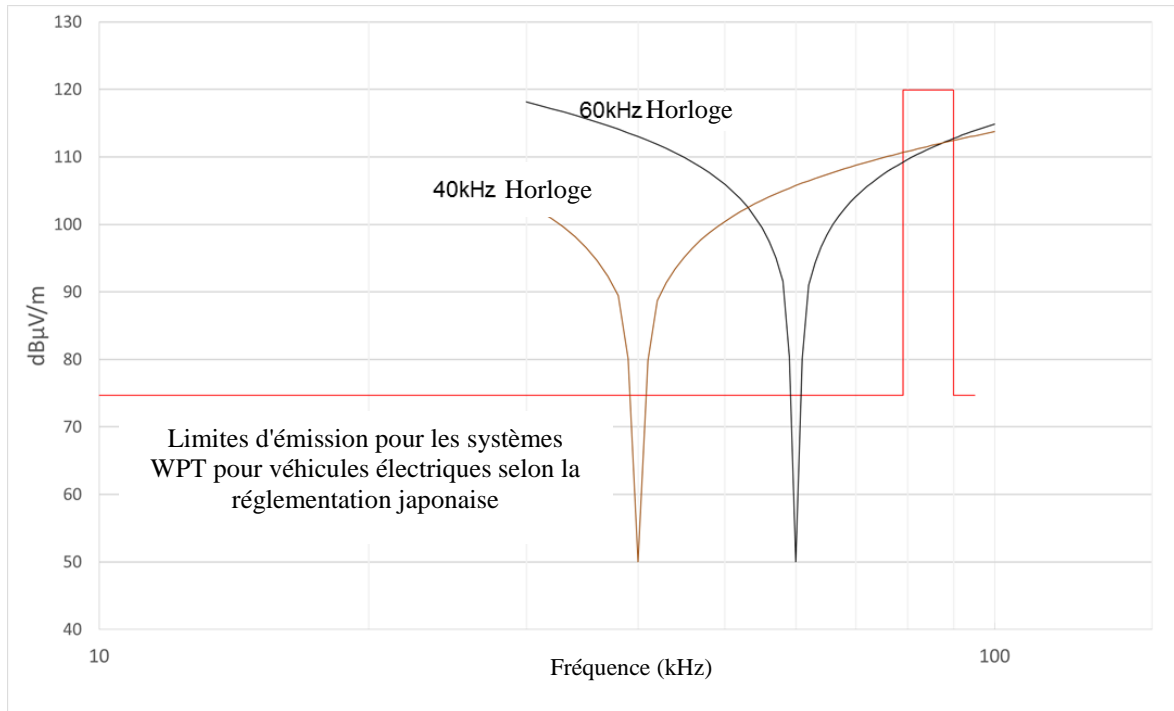
<<http://jjy.nict.go.jp/mission/page4.html#hyojun>>

b) Brouillage provenant des systèmes WPT sur les horloges radiocommandées recevant des fréquences étalon et des signaux horaires

La Fig. A7-3 illustre la limite des émissions des systèmes WPT pour véhicules électriques (EV) et la force du champ de brouillage admissible au niveau du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires de 50 dB μ V/m (à savoir, la sensibilité minimale du récepteur) lorsque la performance du récepteur est dérivée des mesures effectuées sur des horloges radioélectriques, commercialisées sur le marché, qui reçoivent les formes d'ondes transmises des fréquences étalon et des signaux horaires de 40/60 kHz. Cette Figure montre que les formes d'ondes des fréquences étalon et des signaux horaires à 40/60 kHz reçues à une valeur inférieure à 50 dB μ V/m risquent d'être bloquées par des émissions des systèmes WPT-EV dans la gamme de fréquences de 79-90 kHz reçues à des champs supérieurs à 110 dB μ V/m. Certains types d'horloges radiocommandées commercialisés sur le marché pourraient se heurter à un problème de faible immunité au brouillage et de faible sélectivité de fréquences des récepteurs.

FIGURE A7-3

Limite d'émissions pour les systèmes WPT pour véhicules électriques et champ de brouillage admissible des récepteurs de fréquences étalon et de signaux horaires



c) **Distribution de l'heure en vue du réglage de la synchronisation, par la réception de fréquences étalon et de signaux horaires**

Les horloges radiocommandées reçoivent automatiquement des données de fréquences étalon et de signaux horaires pour que leurs heures soient synchronisées sur l'heure de référence. Le Tableau A7-5 illustre la distribution de l'heure pour les systèmes de réglage automatique de la synchronisation de l'heure de plusieurs produits commerciaux. Chaque jour, toutes les horloges des entreprises reçoivent ces données entre 2 h 00 et 5 h 00 du matin.

TABLEAU A7-5

Prévision de la distribution de l'heure pour la synchronisation horaire automatique

		Heure de début de réception d'un signal de données horaires																							
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Horloge 1	Entreprise A															○	△	△							
Horloge 2																○		△							
Horloge 3																○	△	△							
Horloge 4	Entreprise B															○	△	△							
Horloge 5																○		△							
Horloge 6	Entreprise C														○	△	△	△	△	△					
Horloge 7																○	△	△	△						
Horloge 8																	○	△	△	△					
Horloge 9	Entreprise D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Horloge 10			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Horloge 11				○				○			○					○	○				○			○	
Horloge 12				○				○			○					○	○				○			○	
Horloge 13	Entreprise E															○	△	△	△	△					
Horloge 14																○	△	△	△	△					
Horloge 15		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Horloge 16	Toutes les 3 heures																								
Horloge 17	Entreprise F	△	△	△												○	△	△							
Horloge 18			○		○		○		○		○		○		○	○	○	○			○		○		○

Note – Le «cercle» désigne la prévision de la synchronisation horaire primaire, et le «triangle» désigne la synchronisation horaire secondaire à titre de sauvegarde.

d) Examen de l'impact des systèmes WPT pour véhicules électriques sur les services de fréquences étalon et de signaux horaires

Impact potentiel sur la performance du récepteur de fréquences étalon et de signaux horaires et mesure d'atténuation

La performance du récepteur des horloges radiocommandées recevant des fréquences étalon et des signaux horaires risque d'être dégradée par le blocage de ce récepteur, blocage provoqué par les émissions du système WPT dans sa plage de fréquences de fonctionnement, en raison de l'insuffisance des sensibilités des dispositifs de réception des fréquences étalon et des signaux horaires. Il convient de noter que ce cas ne peut être observé que lorsque la synchronisation programmée de la réception des fréquences étalon et des signaux horaires se produit au moment du chargement des véhicules électriques par une transmission d'énergie sans fil. Ainsi, le brouillage préjudiciable ne peut pas se prolonger au-delà de cette période de chevauchement. Les programmes de coordination temporelle du chargement des systèmes WPT doivent donc ajuster les horaires pour éviter ces problèmes de blocage des récepteurs de fréquences étalon et de signaux horaires.

Cadre de compatibilité convenu pour les systèmes WPT pour véhicules électriques et horloges radiocommandées

Dans le Groupe de travail (voir § A7.1), les responsables des représentants et des groupes ayant formulé des propositions pour le secteur des horloges radiocommandées sont parvenus à un consensus sur le cadre de compatibilité de ces deux technologies. Il a été décidé que les systèmes WPT pour véhicules électriques, avec les limites proposées de 68,4 dB μ A/m à des fréquences de 85 kHz (79-90 kHz) pouvaient être utilisés en même temps que des horloges radiocommandées fonctionnant à 40/60 kHz au Japon. Les points suivants ont fait l'objet d'un examen attentif et d'un consensus.

- Le champ minimal reçu de 50 dB μ V/m peut être assoupli d'environ 10 dB.
- La période de chargement des véhicules électriques par transmission sans fil ne fait pas toujours l'objet d'un chevauchement avec la période de réception des fréquences étalon et des signaux horaires par les horloges radiocommandées.
- Les fréquences étalon et les signaux horaires n'arrivent pas toujours avec un champ maximal au niveau du récepteur dans le même sens que celui du système WPT.
- Dans le manuel du dispositif WPT, les instructions suivantes, ou des instructions semblables, doivent figurer «Brouillage électromagnétique éventuel des horloges radiocommandées recevant des fréquences étalon et des signaux horaires».

A7.4.4 Impact sur les services de radio d'amateur

La gamme de fréquences pour les systèmes WPT-EV, fonctionnant à 79-90 kHz, ne chevauche pas la gamme de fréquences prévue pour les services de radio d'amateur, et est également suffisamment espacée de cette dernière. En conséquence, la suppression de la sensibilité du récepteur (hors bande) due au brouillage n'est pas prise en compte. Il peut s'avérer nécessaire de prendre en considération la force des harmoniques des émissions rayonnées (rayonnements non essentiels) émis par le système WPT au cas où celles-ci se situeraient dans les gammes de fréquences des services de radio d'amateur. Les hypothèses selon lesquelles les systèmes WPT-EV se situeraient dans la gamme de fréquences concernée mettent en évidence des paramètres et des performances acceptables pour ces systèmes, ce qui confirme la possibilité de l'absence de brouillage préjudiciable pour les radios d'amateurs. On trouvera des informations précises de cette étude d'impact dans le § 7.1.1 du Rapport UIT-R SM.2303.

A7.4.5 Impact sur les systèmes de radiocommunication ferroviaire

Dans les études relatives à l'impact sur les systèmes de radiocommunication ferroviaire, le brouillage préjudiciable a été examiné dans des scénarios réels d'utilisation, et a fait l'objet de simulation et de mesures. Les points suivants ont été déduits:

- La gamme de fréquences pour les systèmes WPT ne devrait pas chevaucher celles utilisées pour les systèmes de radiocommunication ferroviaires y compris les systèmes d'arrêt automatique de trains et les systèmes radioélectriques par induction pour les trains.
- La distance de séparation par rapport aux dispositifs d'arrêt automatique de train/radioélectriques par induction pour les trains, pour lesquels un système WPT ne provoque pas de brouillage préjudiciable, devrait être inférieure au seuil le plus critique (environ 1,5 m) précisé dans les normes de construction des systèmes de trains.

Il est ressorti de cette étude d'impact que la distance de séparation requise pour répondre à cette condition était supérieure à 5 m pour les systèmes d'arrêt automatique de train et à 45 m pour les systèmes radioélectriques par induction pour les trains. Ces derniers systèmes, néanmoins, qui utilisent la même bande de fréquences que les systèmes WPT pour véhicules électriques fonctionnent dans des zones locales limitées et très spécifiques. L'impact sur les systèmes radioélectriques par induction pour les trains peut être atténué par une coopération entre l'industrie des systèmes WPT et un exploitant ferroviaire. En conséquence le groupe de travail pour la prise de décisions relatives aux systèmes WPT dans le cadre du MIC a décidé que la distance de séparation susmentionnée ne devrait pas s'appliquer aux nouvelles réglementations du Japon relatives aux systèmes WPT. À la suite des discussions, la réglementation du Japon relative aux systèmes WPT a clairement mis en évidence que les systèmes WPT pour véhicules électriques devraient se situer à plus de 5 m des voies ferroviaires. On trouvera plus d'informations sur cette étude d'impact au § 7.1.1 du Rapport UIT-R SM.2303.

Annexe 8

Analyse de l'impact de systèmes WPT sur les services de radiodiffusion

A8.1 Généralités

Selon les prévisions, les chargeurs à transfert d'énergie par induction, fonctionnant à des puissances pouvant atteindre des dizaines ou des centaines de kilowatts devraient devenir très accessibles. Bon nombre de ces chargeurs devrait fonctionner en produisant des harmoniques dans la bande de radiodiffusion à ondes kilométriques de 148,5 à 283,5 kHz, la bande de radiodiffusion à ondes hectométriques de 526,5 à 1 606,5 kHz et la bande de radiodiffusion à ondes décamétriques. Le chargement à de telles puissances, à proximité des habitations et des utilisateurs mobiles de ces bandes menace fortement la réception de la radiodiffusion à ondes kilométriques et à ondes décamétriques. On trouvera dans la Pièce jointe 1 à l'Annexe 8 des renseignements sur les émetteurs de radiodiffusion à ondes kilométriques et ondes hectométriques en Europe, Afrique, et Moyen-Orient. La Pièce jointe 2 à l'Annexe 8 contient des informations sur la radiodiffusion à ondes hectométriques dans les parties de la Région 2.

Fait important, les systèmes WPT ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable sur les services de radiocommunication fonctionnant dans les bandes qui leur sont assignées. Ce principe est souligné dans les Articles **15.12** et **15.13** du Règlement des radiocommunications.

De manière non déraisonnable, les services de radiocommunication fonctionnant en respectant les prescriptions du Règlement des radiocommunications dans les bandes qui leur sont attribuées, font l'objet de l'octroi de licences et de règles précises. En tant que tels, ils ne devraient pas subir de brouillage préjudiciable en provenance des systèmes WPT fonctionnant sans statut réglementaire spécifique. La conception et le fonctionnement des systèmes WPT doivent respecter ce principe.

A8.2 Facteurs affectant l'impact du brouillage

Avant d'examiner comment les systèmes WPT pourraient être source de brouillage, et éventuellement contrôlés, il convient d'étudier ce qui pourrait provoquer «un brouillage préjudiciable». La modulation d'amplitude analogique, par exemple, n'est pas bien protégée, et de faibles niveaux de brouillage peuvent dégrader l'audibilité à des niveaux inadmissibles. La mesure dans laquelle un tel brouillage devient «préjudiciable» est fonction d'un certain nombre de facteurs psychoacoustiques ainsi que de la force du signal reçu, et sera différente selon les auditeurs. Les travaux menés par l'UIT ont néanmoins permis d'établir des limites pour des niveaux admissibles de brouillage. Certains autres services de radiocommunication peuvent fonctionner dans des conditions de propagation hostiles, et ont même été conçus à cette fin. De tels systèmes sont généralement bien protégés, notamment dans certains cas de brouillage.

Une partie de l'énergie radioélectrique générée par un système WPT risque de s'échapper et d'être source de champs électromagnétiques à rayonnements parasites susceptibles de brouiller les services de radiocommunication. Les champs électromagnétiques brouilleurs peuvent se situer à des fréquences de résonance magnétiques de fonctionnement du système WPT ou à une autre fréquence, ou à des valeurs proches de ces fréquences, comme s'ils étaient en relation harmonique. Si l'on écarte la possibilité que le système ou le récepteur puisse se protéger de lui-même contre tout brouillage, un certain nombre de facteurs permettront de déterminer si le brouillage est suffisamment grave pour être considéré comme préjudiciable. Les principaux critères ayant une influence, dont certains ne sont mentionnés que pour leur pertinence à l'égard des systèmes WPT, sont les suivants:

- puissance de sortie du système WPT;
- distance de séparation;
- intermittence;
- orientation de l'antenne;
- affaiblissement par pénétration dans le bâtiment; et
- alignement des polarisations.

Une brève explication de chacun de ces critères figure dans la Pièce jointe 3 à l'Annexe 8.

A8.3 Commentaire et applications aux systèmes WPT et récepteurs de radiodiffusion.

Si l'on examine le cas précis d'un récepteur de radiodiffusion à modulation de fréquences (ondes kilométriques, hectométriques ou décamétriques) faisant l'objet de brouillage causé par un système WPT, les facteurs pertinents sont la force des champs électromagnétiques parasites au sein de la bande de fréquences de fonctionnement du récepteur (comprenant généralement une combinaison de rayonnements sur la fréquence de fonctionnement nominale du système WPT plus les harmoniques de ce dernier, et éventuellement des rayonnements de type bruit) et la séparation physique entre le récepteur et le système WPT-EV.

Dans le cas de systèmes WPT conçus pour recharger les véhicules électriques (WPT-EV), le fonctionnement durera généralement pendant des périodes assez longues; dans ce cas, le brouillage doit être considéré comme un phénomène continu et aucun assouplissement des prescriptions ne peut être prévu en matière de protection, en se fondant sur l'intermittence⁵. Il est peu probable qu'il soit possible de contrôler l'orientation des rayonnements émis par les systèmes WPT-EV (notamment sur les fréquences autres que les fondamentales), d'autant plus si les fréquences sont dirigées vers l'opposé du récepteur de radiodiffusion le plus proche, et donc aucun assouplissement n'est envisageable dans ce cas. Par ailleurs, il est peu probable que l'on puisse contrôler la polarisation des rayonnements émis par les systèmes WPT-EV (et de nouveau, en particulier, les harmoniques) qui doivent donc être considérés comme le pire des scénarios.

La majorité des plages de fonctionnement des systèmes WPT ne correspond à aucune bande de radiodiffusion⁶ et les rayonnements émis à ces fréquences de fonctionnement ont peu de chance de causer un brouillage préjudiciable pour les services de radiodiffusion. Il est toutefois possible que les rayonnements sur les fréquences en relation harmonique puissent se situer dans les bandes de radiodiffusion à ondes kilométriques (148,5 kHz à 283,5 kHz), à ondes hectométriques (526,5 à 1 606,5 kHz) ou à ondes décamétriques (plusieurs entre 3,2 MHz et 26,1 MHz).

A8.4 Limites de champs admissibles

Des limites ont été proposées pour les champs magnétiques émis par les dispositifs à induction à faible puissance fonctionnant sur de courtes portées, dans différents emplacements (par exemple la Recommandation ERC REC 70-03 pour les limites d'émission dans la bande et la Recommandation ERC REC 74-01 pour les limites d'émissions dans le domaine des rayonnements non essentiels, CISPR11, etc.). Aucune de ces limites proposées ne semble protéger les services de radiocommunication dans tous les cas. En effet, elles sont relativement inappropriées dans la mesure où l'on sait que des cas de brouillage préjudiciable se produisent. Le fait qu'il s'agisse de cas rares est dû à divers facteurs d'atténuation comme l'intermittence de l'utilisation, la densité de la mise en œuvre et les distances de séparation entre les sources de brouillage et les victimes du brouillage, pouvant permettre de réduire l'ampleur et la gravité du brouillage à des niveaux «admissibles». Rien ne permet d'étayer l'affirmation selon laquelle l'adaptation des limites établies pour les applications à faible puissance à induction, à usage intermittent sera appropriée pour la technologie de transfert d'énergie à haute puissance et par induction comme les systèmes WPT-EV.

Dérivation d'un niveau maximal admissible de brouillage au niveau du récepteur modulé en amplitude

Il est en conséquence nécessaire de dériver les limites appropriées à partir des premiers principes de la compatibilité électromagnétique. La première étape pour dériver des limites applicables au champ admissible consiste à examiner les champs utiles et les champs brouilleurs au niveau du récepteur de radiodiffusion, quelle que soit la distance de séparation avec la source de brouillage.

⁵ Les bulletins d'information de la BBC ne durent généralement pas plus de deux minutes, et la durée d'un programme d'intérêt général est souvent d'une demi-heure. La tolérance d'un auditeur à un sifflement de fond continue ne dépasse généralement pas plus de quelques secondes, période au bout de laquelle il cherche à régler sa radio sur une autre station (concurrente).

⁶ Sauf si les harmoniques de la fréquence de fonctionnement jouent un rôle dans le processus de transmission d'énergie.

Pour qu'un récepteur de radiodiffusion à modulation d'amplitude puisse continuer de fonctionner comme prévu, aux niveaux fixés pour maintenir un niveau satisfaisant de qualité de signal et d'audibilité sur la zone de service prévue, le niveau maximal admissible de tout champ magnétique brouilleur peut être calculé à partir des Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 comme:

- la Bande 5 (ondes kilométriques) (148,5-283,5 kHz): $-45,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$
- la Bande 6 (ondes hectométriques) (526,5-1606,5 kHz): $-51,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ (A)
- la Bande 7 (ondes décamétriques) (3,2-26,1 MHz)⁷: $-71,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$

On trouvera dans la Pièce jointe 4 à l'Annexe 8 les détails du calcul.

Masquage du bruit

D'autres études effectuées par la BBC et décrites en détail dans la Pièce jointe 7 à l'Annexe 8 montrent que l'association d'un bruit ambiant (naturel et artificiel) et d'un bruit de récepteur, peut masquer l'effet d'un brouilleur sinusoïdal stable. Pour un récepteur présentant la même performance que celle préconisée dans la Recommandation UIT-R BS.703 [15], l'effet de masquage du bruit du système augmenterait le niveau admissible de tout champ magnétique brouilleur de 8 dB. Ces chiffres (A) deviennent:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): $-37,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$
- la Bande 6 (ondes hectométriques): $-43,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$
- la Bande 7 (ondes décamétriques)³: $-63,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$

Séparation entre le récepteur et la source de brouillage

L'étape suivante dans le processus visant à déterminer si la coexistence est possible consiste à examiner s'il est nécessaire de formuler des hypothèses en matière de distances de séparation à respecter pour définir une limite d'émission ainsi que la plage des distances de séparation que l'on peut rencontrer dans la pratique, avec les différents facteurs qui affecteront la propagation entre la source de brouillage et le récepteur de radiodiffusion. Cela dépendra des scénarios envisagés pour l'utilisation des systèmes WPT-EV.

Les limites de champs admissibles au niveau du récepteur peuvent ainsi être évaluées par rapport aux limites d'émissions proposées pour une distance de référence entre le récepteur et la source de brouillage. La théorie électromagnétique prévoit que le champ brouilleur varie en fonction du cube de la distance de séparation avec la source de brouillage. Une augmentation de dix fois cette distance va se traduire par une réduction de 60 dB du champ. Par convention, le champ magnétique émis par un dispositif à induction est spécifié à une distance de mesure ou de référence de 10 mètres, mais il est difficile de garantir que la distance de séparation entre un récepteur de radiodiffusion et un dispositif WPT sera effectivement de 10 mètres. Dans le cas d'un chargeur de véhicule électrique personnel, par exemple, une distance de séparation de trois mètres serait plus réaliste pour évaluer la compatibilité, et pourrait même être inférieure. On trouvera dans la Pièce jointe 5 à l'Annexe 8 l'explication de ces chiffres.

Il est donc capital que les limites dérivées précédemment pour le champ magnétique brouilleur maximal admissible au niveau du récepteur soient observées à une distance de trois mètres du système WP. La normalisation de ces limites par rapport à la distance de mesure de référence de 10 mètres jusqu'au chargeur (à savoir, à sept mètres de plus depuis le récepteur du côté opposé du chargeur) sera inférieure d'environ 31 dB car à de telles distance, le champ magnétique décroît avec le cube de la distance (60 dB par décade).

⁷ La bande de radiodiffusion à ondes décamétriques (Bande 7) se divise en 14 sous-bandes: 2,30-2,495; 3,20-3,40; 3,90-4,00; 4,75-5,06; 5,80-6,20; 7,20-7,45; 9,40-9,90; 11,60-12,10; 13,57-13,87; 15,10-15,83; 17,48-17,90; 18,90-19,02; 21,45-21,85 et 25,60-26,10 (toutes en MHz).

Si l'on soustrait 31 dB des chiffres figurant en (A), sur les rayonnements émis par un système WPT-EV mesurés à une distance de 10 mètres cela implique la limite suivante:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): (–45,0-31,0) = –76,0 dB μ A/m
- la Bande 6 (ondes hectométriques): (–51,0-31,0) = –82,0 dB μ A/m (B)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): (–71,0-31,0) = –102,0 dB μ A/m

Ou si l'assouplissement de 8 dB dû au masquage de bruit est pris en compte:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): –68,0 dB μ A/m
- la Bande 6 (ondes hectométriques): –74,0 dB μ A/m (B bis)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): –94,0 dB μ A/m

Il serait certainement «difficile» de mesurer les champs de cette grandeur directement, mais ils doivent être mesurés à une distance plus proche et «corrigés» de nouveau à l'aide d'une valeur de 60 dB par décade (distance).

Emplacement géographique

Le fonctionnement des émetteurs de radiodiffusion modulés en amplitude est réglementé par l'UIT. Dans les Régions 1 et 3, l'instrument pertinent est le Plan de fréquence de Genève, de 1975 (GE75) et dans la Région 2, le Plan de fréquences de Rio de Janeiro, de 1981(RJ81). On doit souligner que tous les chiffres susmentionnés sont calculés pour un récepteur fonctionnant en tout emplacement, dans la zone de service prévue, et qui est protégé dans le cadre de ces Accords. Chaque fois que cela est possible, les radiodiffuseurs prévoient leurs services de telle sorte que les zones à densité de population reçoivent un signal supérieur à la valeur minimale prévue. Inversement, toutefois, il peut s'avérer possible d'associer cet objectif avec le fait d'avoir des champs plus faibles, au bord de la zone de service prévue, dans des zones rurales beaucoup moins peuplées qui sont généralement plus calmes en termes de bruit rayonné. En outre, dans tout emplacement, il serait possible d'avoir un mélange de signaux forts émis par les émetteurs relativement proches et de signaux plus faibles émis par les émetteurs plus éloignés. On suppose qu'un système WPT, en particulier un tel système pour les véhicules électriques, sera approprié pour être utilisé en tout emplacement, et qu'en conséquence, il faudra respecter les critères de protection pour les signaux utilisables les plus faibles.

Autres études et techniques d'atténuation

Les Accords régionaux GE75 et RJ81 assignent des fréquences de fonctionnement aux émetteurs à ondes kilométriques et hectométriques de telle sorte qu'ils ne soient pas source de brouillage l'un pour l'autre, et ces assignations sont effectuées en fonction de facteurs tels que la séparation géographique, la puissance de l'émetteur et les caractéristiques d'antenne. Ces Accords se fondent sur les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 mentionnées plus haut. Fait important, les plans d'assignation régionaux règlent les fréquences de fonctionnement de l'émetteur sur une grille; en vertu du Plan GE75, chaque fréquence (porteuse) est un multiple de 9 kHz et au titre du Plan RJ 81, un multiple de 10 kHz. Les bandes sont subdivisées en canaux⁸. Cela signifie que tout brouillage subi par un émetteur et provoqué par un autre émetteur se situera sur la même fréquence porteuse ou sera séparé d'au moins (un multiple de) 9 kHz ou 10 kHz. La réutilisation des fréquences est également organisée en gardant à l'esprit la question de la séparation géographique, de telle sorte que le signal provenant d'un même canal ou d'un canal adjacent, source de brouillage, sera atténué par la distance de séparation par rapport à la zone de service du signal utile.

⁸ Le canal du «fond» de la bande à ondes kilométriques présente une fréquence porteuse de 153 kHz et s'étend de 148,5 kHz à 157,5 kHz. Le canal suivant dispose d'une fréquence porteuse de 162 kHz et s'étend de 157,5 kHz à 166,5 kHz. etc.

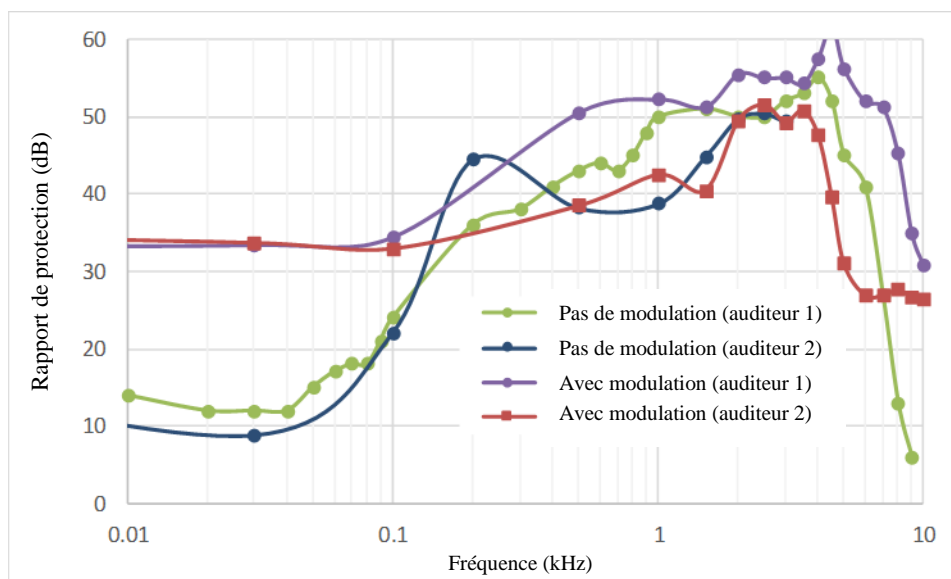
Lorsque toutes les porteuses se situent sur un canal commun, et qu'il se produit un brouillage sur un même canal, celui-ci est jusqu'à 16 dB moins intrusif que si les fréquences étaient choisies au hasard, ce qui constitue un avantage majeur. La Fig. 1 de la Recommandation UIT-R BS.560⁹, montre que le rapport de protection relatif entre les différentes stations sera toujours égal à zéro ou mieux, l'effet du brouillage étant alors moins préjudiciable.

Il est possible d'appliquer le même principe à un système WPT si sa fréquence de fonctionnement peut être choisie et fixée comme un multiple de 9 kHz ou 10 kHz. Lorsque la fréquence de fonctionnement est choisie de cette manière, toutes les harmoniques vont (automatiquement) se situer sur le canal de la fréquence de radiodiffusion. Des études ont été effectuées par la BBC en novembre 2017 en vue d'examiner les effets subjectifs du brouillage provoqués par une porteuse non modulée située sur le canal de fréquences ou hors de celui-ci. Ces études sont décrites dans le Livre blanc de la Recherche et du Développement de la BBC WHP 332, de novembre 2017, intitulé «Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception» (Transmission d'énergie sans fil: brouillage provoqué par une porteuse pure au niveau de la réception à modulation d'amplitude) qui figure dans la Pièce jointe 6 à l'Annexe 8.

La Fig. A8-1 illustre le graphique pertinent du rapport de la BBC.

FIGURE A8-1

Rapports de protection prescrits avec des brouilleurs modulés et non modulés



Outre le fait de corroborer les calculs précédents des champs admissibles, l'étude montre que si la fréquence de fonctionnement des systèmes WPT et leurs harmoniques¹⁰ sont des signaux sinusoïdaux clairs (sont non modulés) et proches des fréquences des canaux de radiodiffusion, elles peuvent être supérieures de 22 dB (au-delà des 16 dB de la Recommandation UIT-R BS.560, à savoir 38 dB de plus au total) sans avoir d'effet préjudiciable de manière audible sur le signal audio démodulé émis par le récepteur. Néanmoins, si le brouilleur n'est pas suffisamment proche de la fréquence du canal, les dispositions des Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 s'appliquent toujours.

⁹ Reproduit dans la Pièce 4 jointe à l'Annexe 8.

¹⁰ Si les fréquences de fonctionnement des systèmes WPT-EV (chargeurs de véhicules par exemple) sont restreintes à la gamme 79-90 kHz, ce ne sont que les harmoniques qui affecteront le service de radiodiffusion.

Le décalage entre chaque harmonique significative et la fréquence correspondante de la grille doit être inférieur de ± 50 Hz. Si l'harmonique significative la plus élevée est la 12^{ème}, par exemple, la fréquence de la fondamentale devra être fixée et contrôlée aux alentours de 4 Hz. Dans le cas d'un système WPT à moyenne puissance, fonctionnant dans la bande de 79 kHz à 90 kHz, si toutes les harmoniques sont des multiples de 9 kHz (Régions 1 et 3) cela limite le choix de la fondamentale à 81 kHz ou 90 kHz. De la même manière, pour le canal de 10 kHz (Région 2) ce choix est limité à 80 kHz ou 90 kHz.

Si l'on observe particulièrement les Régions 1 et 3¹¹ de l'UIT, et les bandes de radiodiffusion, il existe 15 canaux à ondes kilométriques et 120 canaux à ondes hectométriques. Si l'on suppose que la fréquence de fonctionnement du système WPT est choisie pour respecter le canal de radiodiffusion prévu de 9 kHz, les seules stations radios qui seront affectées seront celles dans lesquelles une harmonique du système WPT-EV coïncide avec la porteuse d'une station de réception. Si l'on observe les harmoniques du système WPT-EV jusqu'à la 19^{ème}, (la 18^{ème} harmonique de 90 kHz et la 20^{ème} harmonique de 81 kHz se situent en dehors et au-dessus de la bande de radiodiffusion à ondes hectométriques), quatre (des 15) canaux à ondes kilométriques seront affectés avec 25 (des 120) canaux à ondes hectométriques. S'il est possible de contrôler les rayonnements parasites aux harmoniques d'un rang supérieur, il se peut qu'un nombre moindre de canaux à ondes hectométriques soit affecté. Dans certains cas, lorsque l'on sait qu'un signal entrant particulièrement faible est reçu par une station spécifique il peut être possible de choisir la fréquence de fonctionnement du système WPT-EV aux fins d'éviter tout conflit. Il convient toutefois de noter que la 10^{ème} harmonique de 81 kHz et la 9^{ème} harmonique de 90 kHz correspondent sur le canal de radiodiffusion de 810 kHz. Les mêmes éléments sont pris en compte lors de la planification des réseaux de radiodiffusion en vue d'éviter que les émetteurs ne soient sources de brouillage l'un par rapport à l'autre.

Si l'on commence avec les équations (A) mentionnées plus haut, les chiffres révisés pour les niveaux de rayonnement admissibles émis par des systèmes WPT-EV lors de leur fonctionnement, au niveau du récepteur (ou la distance de séparation minimale anticipée) sur les canaux de radiodiffusion sont les suivants:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): $(-45,0 + 38,0)$ $-7,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$
- la Bande 6 (ondes hectométriques): $(-51,0 + 38,0)$ $-13,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ (C)
- la Bande 7 (ondes décimétriques): $(-71,0 + 38,0)$ $-33,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$

Ou, si l'on considère les équations (B), à une distance de mesure de 10 mètres;

- la Bande 5 (ondes kilométriques): $(-76,0 + 38,0)$ $-38,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$
- la Bande 6 (ondes hectométriques): $(-82,0 + 38,0)$ $-44,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ (D)
- la Bande 7 (ondes décimétriques): $(-102,0 + 38,0)$ $-64,0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$

Études réalisées à l'aide d'un récepteur commercial

Une autre étude a été effectuée par la BBC en Juin 2018 à l'aide d'un récepteur commercialisé sur le marché. Cette étude est décrite dans la Pièce jointe 7 à l'Annexe 8:

Il ressort en conclusion de ce rapport que le bruit du système, l'association du bruit ambiant et du bruit du récepteur, seraient susceptibles de masquer un brouillage par fréquence unique. L'effet psychoacoustique de ce masquage assouplit les chiffres énoncés en (A) et (B) ci-dessus, de 8 dB.

¹¹ Une évaluation semblable peut être réalisée pour la Région 2, mais nous l'avons omise pour des raisons de concision.

Au niveau du récepteur:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): –37,0 dB μ A/m
- la Bande 6 (ondes hectométriques): –43,0 dB μ A/m (A bis)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): –63,0 dB μ A/m

À une distance de mesure de 10 mètres:

- la Bande 5 (ondes kilométriques): –68,0 dB μ A/m
- la Bande 6 (ondes hectométriques): –74,0 dB μ A/m (B bis)
- la Bande 7 (ondes décamétriques): –94,0 dB μ A/m

Ces chiffres sont présentés sous forme tabulaire dans le Tableau A8-1.

TABLEAU A8-1

Limites sur les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV aux fins de protéger les services de radiocommunication fonctionnant à des fréquences inférieures à 30 MHz dans lesquels le système WPT-EV n'est pas verrouillé sur une grille de fréquences de radiodiffusion⁽¹⁾

Service	Bande	Puissance du système WPT-EV ⁽²⁾	Prescriptions en matière de protection/limites des harmoniques du système WPT-EV (à une distance de séparation minimale ou au niveau de l'antenne du récepteur)			Correction à une distance de mesure de 10 m ⁽³⁾
			1 m	3 m	10 m	
Radiodiffusion	Ondes kilométriques 148,5-283,5 kHz	Basse/faible	–37 dB μ A/m			–97 dB μ A/m
		Moyenne		–37 dB μ A/m		–68 dB μ A/m
		Élevée			–37 dB μ A/m	–37 dB μ A/m
	Ondes hectométriques 526,5-1 606,5 kHz	Basse/faible	–43 dB μ A/m			–103 dB μ A/m
		Moyenne		–43 dB μ A/m		–74 dB μ A/m
		Élevée			–43 dB μ A/m	–43 dB μ A/m
	Ondes décamétriques 2,30-26,10 MHz ⁽⁴⁾	Basse/faible	–63 dB μ A/m			–123 dB μ A/m
		Moyenne		–63 dB μ A/m		–94 dB μ A/m
		Élevée			–63 dB μ A/m	–63 dB μ A/m

⁽¹⁾ Lorsque les harmoniques du système WPT-EV SONT alignées sur la grille de fréquences de radiodiffusion, un assouplissement de 30 dB de ces chiffres est admissible – Tableau A8-2.

⁽²⁾ Classes de puissance de la transmission d'énergie sans fil (WPT): Le système WPT-EV haute puissance est supérieur à 22 kW; Le système WPT-EV moyenne puissance se situe entre 3,3 kW et 22 kW; Le système WPT-EV faible puissance se situe entre 50 W et 3,3 kW; Le système WPT-EV faible puissance est inférieur à 50 W.

⁽³⁾ Voir Pièce jointe 5 à l'Annexe 8.

⁽⁴⁾ La bande de radiodiffusion à ondes décamétriques (Bande 7) se divise en 14 sous-bandes: 2,30-2,495, 3,20-3,40, 3,90-4,00, 4,75-5,06, 5,80-6,20, 7,20-7,45, 9,40-9,90, 11,60-12,10, 13,57-13,87, 15,10-15,83, 17,48-17,90, 18,90-19,02, 21,45-21,85 et 25,60-26,10 (toutes en MHz).

TABLEAU A8-2

Limites sur les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV aux fins de protéger les services de radiocommunication fonctionnant à des fréquences inférieures à 30 MHz
dans lesquels le système WPT-EV est verrouillé
sur une grille de fréquences de radiodiffusion

Service	Bande	Puissance du système WPT-EV ⁽¹⁾	Prescriptions en matière de protection/limites des harmoniques du système WPT-EV (à une distance de séparation minimale ou au niveau de l'antenne du récepteur)			Correction à une distance de mesure de 10 m ⁽²⁾
			1 m	3 m	10 m	
Radiodiffusion	Ondes kilométriques 148,5-283,5 kHz	Basse/faible	-7 dBμA/m			-67 dBμA/m
		Moyenne		-7 dBμA/m		-38 dBμA/m
		Élevée			-7 dBμA/m	-7 dBμA/m
	Ondes hectométriques 526,5-1 606,5 kHz	Basse/faible	-13 dBμA/m			-73 dBμA/m
		Moyenne		-13 dBμA/m		-44 dBμA/m
		Élevée			-13 dBμA/m	-13 dBμA/m
	Ondes décimétriques 2,30-26,10 MHz ⁽³⁾	Basse/faible	-33 dBμA/m			-93 dBμA/m
		Moyenne		-33 dBμA/m		-64 dBμA/m
		Élevée			-33 dBμA/m	-33 dBμA/m

⁽¹⁾ Classes de puissance de la transmission d'énergie sans fil (WPT): Le système WPT-EV haute puissance est supérieur à 22 kW; le système WPT-EV moyenne puissance se situe entre 3,3 kW et 22 kW; le système WPT-EV faible puissance se situe entre 50 W et 3,3 kW; le système WPT-EV faible puissance est inférieur à 50 W.

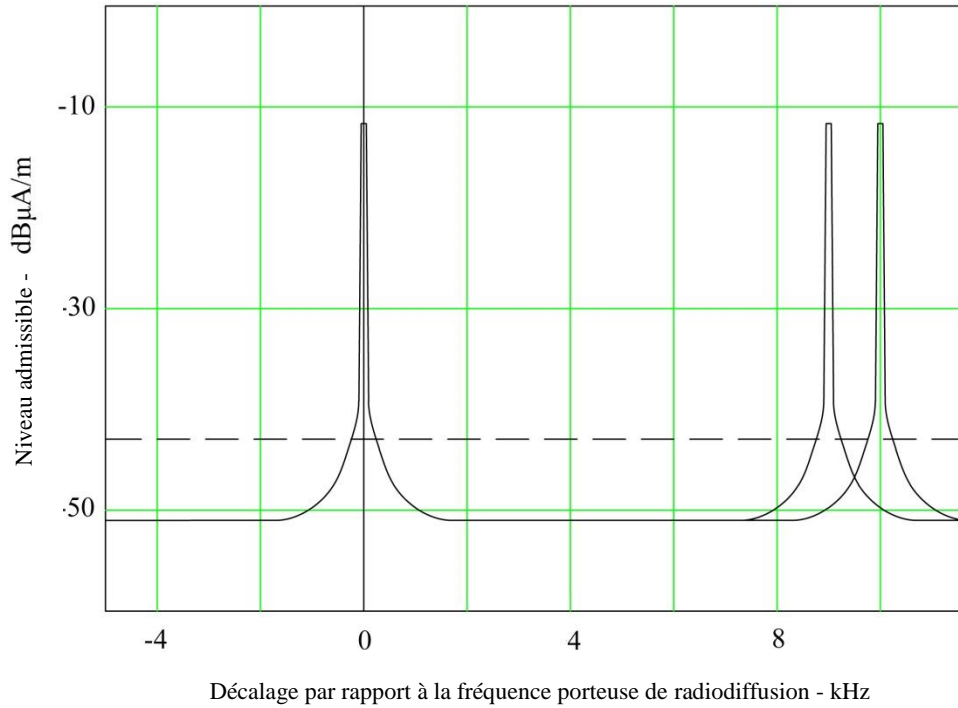
⁽²⁾ Voir Pièce jointe 5 à l'Annexe 8.

⁽³⁾ La bande de radiodiffusion à ondes décimétriques (Bande 7) se divise en 14 sous-bandes: 2,30-2,495, 3,20-3,40, 3,90-4,00, 4,75-5,06, 5,80-6,20, 7,20-7,45, 9,40-9,90, 11,60-12,10, 13,57-13,87, 15,10-15,83, 17,48-17,90, 18,90-19,02, 21,45-21,85 et 25,60-26,10 (toutes en MHz).

La Fig. A8-2 ci-après illustre l'effet d'un fonctionnement sur une grille de canaux.

FIGURE A8-2

Gabarit spectral représentant les limites des émissions rayonnées d'un système WPT-EV en fonction du décalage par rapport à la fréquence porteuse de radiodiffusion modulée en amplitude



Dans la Fig. A8-2, le trait plein illustre le niveau de brouillage admissible provoqué par une onde sinusoïdale non modulée en l'absence de masquage de bruit tandis que le trait en pointillés représente l'effet du masquage de bruit à la limite de la réception. Le gabarit n'est applicable qu'à un brouillage causé par une seule onde sinusoïdale.

Pièce jointe 1 à l'Annexe 8

Renseignements concernant les émetteurs de radiodiffusion à ondes kilométriques et ondes hectométriques sur lesquels les systèmes WPT-EV ont une incidence

A8-A1.1 Introduction

La présente pièce jointe énonce toutes les sources d'information avec une vue d'ensemble des émetteurs à ondes kilométriques et à ondes hectométriques existant en Europe, Afrique et Moyen Orient. Ces émetteurs sont utilisés pour les services de radiodiffusion nationaux et internationaux et essentiellement analogiques, bien que des services numériques soient également mis en place.

A8-A1.2 Sources d'informations disponibles

Les informations fournies dans les sources ci-après correspondent aux dates indiquées dans les tableaux et les graphiques ci-dessous, et peuvent avoir changé après ces dates.

A8-A1.2.1 Fichier de référence international des fréquences (Fichier de référence) (Services de terre) – demande en ligne (Communiqué BETA)

Lien: <https://www.itu.int/UIT-R/terrestrial/eTerraQuery/eQry.aspx>

Si nécessaire, il est possible de procéder à l'extraction et à l'analyse statistique des informations relatives aux émetteurs à ondes kilométriques et à ondes hectométriques enregistrées dans le Fichier de référence.

A8-A1.2.2 Base de données MWLIST – Base de données des stations radio à ondes kilométriques, à ondes hectométriques, à bandes tropicales et à ondes décamétriques

Lien: http://www.mwlist.org/mwlist_quick_and_easy.php?area=1&kHz=530

Voir l'Appendice 1 pour des exemples d'informations pouvant être obtenues à partir de cette source.

A8-A1.2.3 Pour les émetteurs à ondes hectométriques du Royaume-Uni (complément aux informations figurant au § 2.2)

Paramètres techniques pour les émetteurs de radiodiffusion:

Lien: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/excel_doc/0017/91304/TechParams.xlsx

Voir Appendice 2 pour des exemples d'informations qui pourraient être obtenues à partir de cette source.

A8-A1.2.4 Pour la mise en œuvre du système DRM à ondes hectométriques

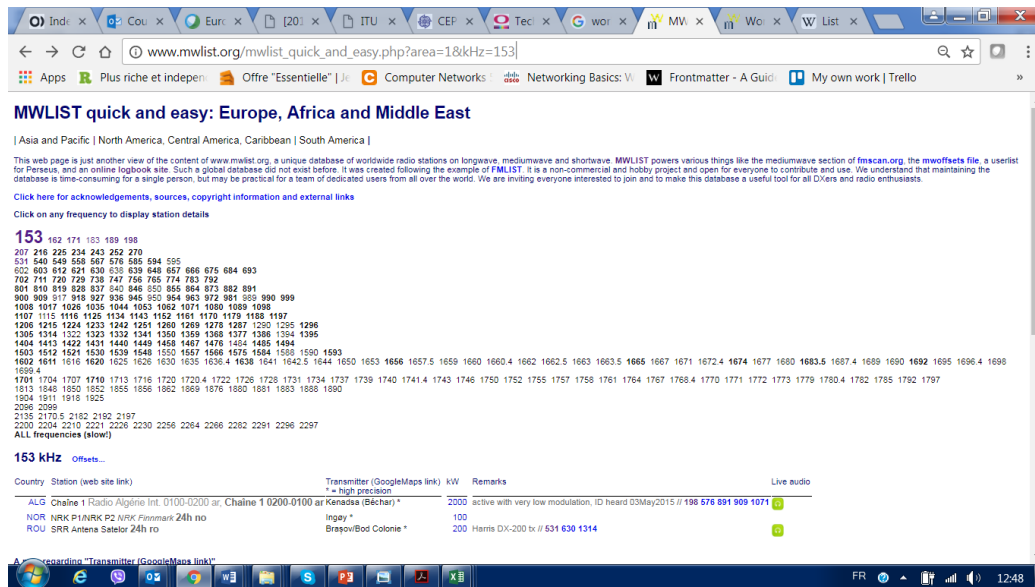
Digital Radio Mondiale: <http://www.drm.org/>

Tous les systèmes DRM à ondes hectométriques en Inde:

<http://allindiaradio.gov.in/Oppurtunities/Tenders/Documents/DRM%20Medium%20Wave%20update%2004042016.pdf>

Supplément 1 à la Pièce jointe 1 à l'Annexe 8

Capture d'écran de la base de données «MWLIST – Base de données des stations radio à ondes kilométriques, à ondes hectométriques, à bandes tropicales et à ondes décamétriques»:
http://www.mwlist.org/mwlist_quick_and_easy.php?area=1&kHz=530



Le Tableau A8-3 ci-après illustre les émetteurs à ondes kilométriques en Europe, Afrique, et Moyen-Orient, figurant sur le site www.mwlist.org, données extraites en septembre 2017.

TABLEAU A8-3

Émetteurs à ondes kilométriques en Europe, Afrique et Moyen-Orient figurant sur le site www.mwlist.org, données extraites en septembre 2017

Fréquence (kHz)	Pays	Station	Émetteur	kW
153	ALG	Chaîne 1 Radio Algérie Int.	Kenadsa (Béchar) *	2 000
153	NOR	NRK P1/NRK P2 NRK Finnmark	Ingøy *	100
153	ROU	SRR Antena Satelor	Braşov/Bod Colonie *	200
162	F	Signal horaire TDF	Allouis *	1 100
171	MRC	Médi 1	Nador (LW) *	1 600
183	D	Europe 1	Felsberg/Zum Sender (Sauberg) *	1 500
189	ISL	RÚV Rás 1/RÚV Rás 2	Gufuskálar (Hellissandur) *	300
198	ALG	Chaîne 1	Berkaoui (Ouargla) *	2 000
198	G	BBC Radio 4	Droitwich/Mast A-B *	500
198	G	BBC Radio 4	Westerglen *	50
198	G	BBC Radio 4	Burghead *	50
198	G	BBC Radio 4	Dartford Tunnel *	0,004

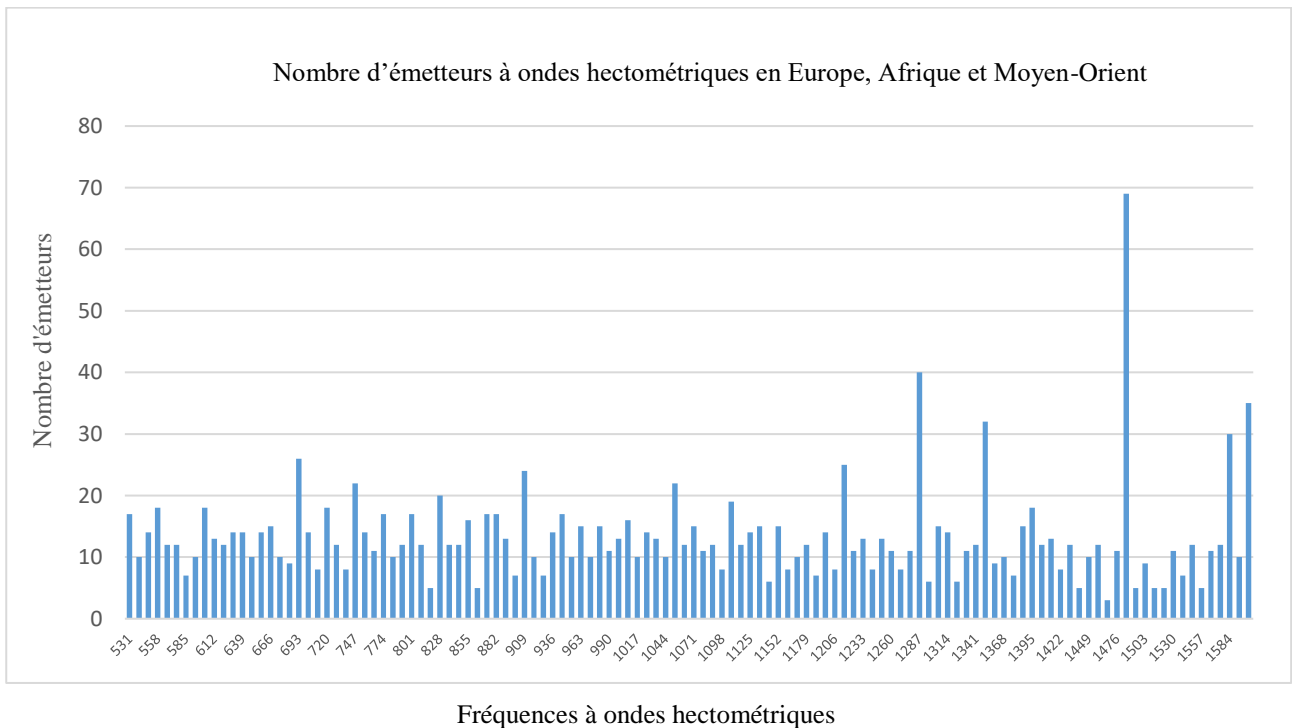
TABLEAU A8-3 (fin)

Fréquence (kHz)	Pays	Station	Émetteur	kW
207	ISL	RÚV Rás 1/RÚV Rás 2	Eiðar *	100
207	MRC	SNRT Al Idaâ Al-Watania	Azilal Demnate *	400
216	F	RMC Info	Roumoules *	1 400/700
225	POL	Polskie Radio Jedyńka	Solec Kujawski/Kabat *	1 000
234	LUX	RTL	Beidweiler *	1 500
243	DNK	DR Langbølge	Kalundborg/Radiovej *	50
252	ALG	Chaîne 3	Tipaza *	1 500/750
252	IRL	RTÉ Radio 1	Clarkestown/Summerhill *	150/60
270	CZE	ČRo Radiožurnál	Topolná *	50

Les Figs. A8-3 et A8-4 ci-après illustrent la répartition des émetteurs à ondes hectométriques par fréquence et par pays en Europe, Afrique et Moyen-Orient, comme indiqué sur le site www.mwlist.org, données extraites en septembre 2017.

FIGURE A8-3

Nombre d'émetteurs à ondes hectométriques en Europe, Afrique et Moyen-Orient
(source: www.mwlist.org, septembre 2017)



Supplément 2 à la Pièce jointe 1 à l'Annexe 8

Renseignements extraits des Paramètres techniques pour les émetteurs de radiodiffusion (Ofcom UK)

FIGURE A8-5

Nombre d'émetteurs à ondes hectométriques au Royaume-Uni (source Ofcom, août 2017)

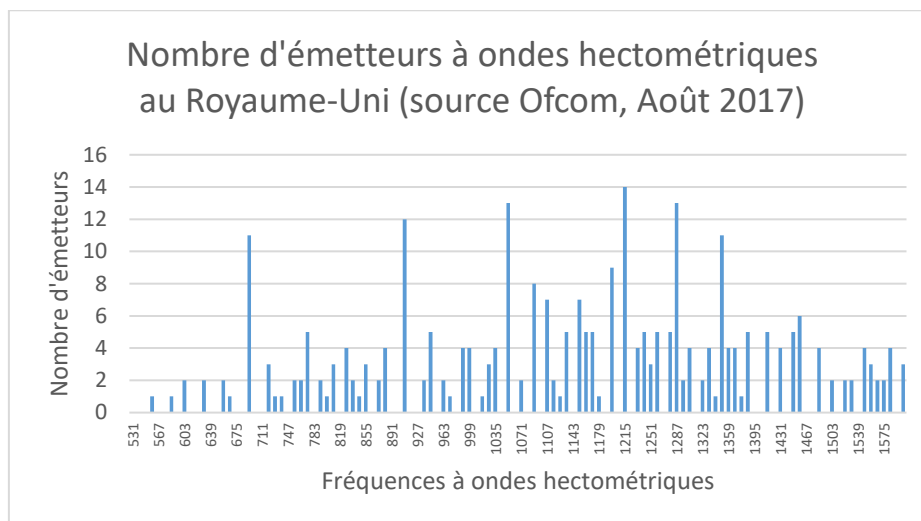
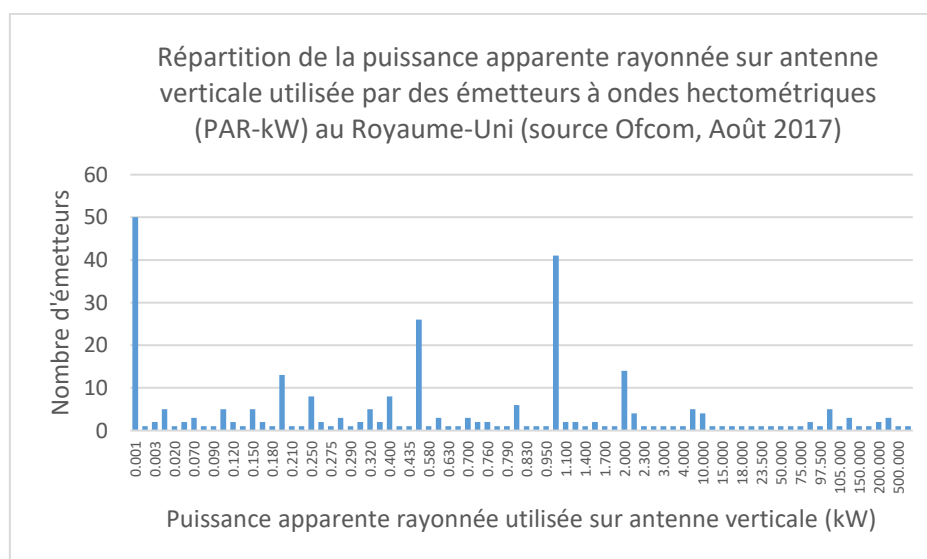


FIGURE A8-6

Répartition de la puissance apparente rayonnée sur antenne verticale (PAR – kW) utilisé par les émetteurs à ondes hectométriques au Royaume-Uni (source Ofcom, août 2017)



Note relative aux Figs. A8-5 et A8-6 – La base de données en ligne Ofcom suggère qu'au Royaume-Uni il existe 294 émetteurs à ondes hectométriques en service sur 75 fréquences différentes. Ils se situent dans une gamme de puissances apparentes rayonnées sur antenne verticale, commençant à 1 W (pour les petites stations radio d'hôpitaux, de communautés ou de campus) et allant jusqu'à plusieurs centaines de kW pour certaines stations commerciales nationales plus importantes. La base de données Ofcom peut être téléchargée à partir du site Web sur le lien suivant: <https://www.ofcom.org.uk/spectrum/information/radio-tech-parameters>.

Pièce jointe 2 à l'Annexe 8

Rapport de la radiodiffusion à ondes hectométriques dans les parties de la Région 2

A8-A2.1 Vue d'ensemble

Les dispositifs de transmission d'énergie sans fil (WPT-EV) constituent une source de brouillage potentielle pour la radiodiffusion à ondes hectométriques dans la Région 2. Les études et les rapports précédents ont mis en évidence le brouillage causé par les chargeurs sans fil de 15 W conçus pour des systèmes mobiles, au niveau de la réception des stations de radiodiffusion fonctionnant à des fréquences comprises entre 540 kHz et 610 kHz. L'impact que les systèmes WPT pour véhicules électriques et fonctionnant à des fréquences de 3 kW à 11 kW pourraient avoir constitué une menace plus importante pour la radiodiffusion modulée en amplitude.

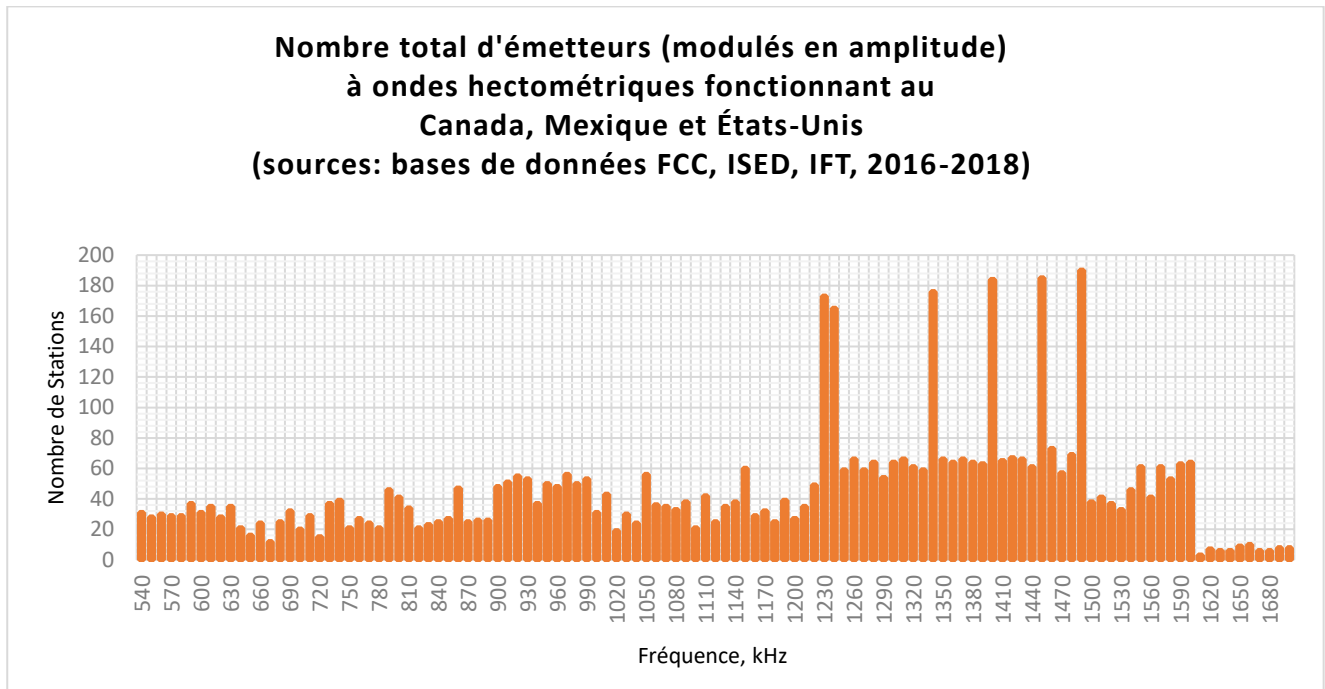
La radiodiffusion à ondes hectométriques assure chaque jour la diffusion d'informations importantes pour des centaines de millions de personnes dans la Région 2. Ce service est particulièrement important dans des situations d'urgence et de catastrophes notamment, lorsque des informations critiques pouvant sauver des vies humaines doivent être communiquées.

A8-A2.2 Introduction

La radiodiffusion à ondes hectométriques fait de plus en plus l'objet de brouillage et de bruits artificiels. La radio modulée en amplitude pour sa part assure des fonctions majeures pour transmettre des bulletins d'informations locales essentielles, des renseignements concernant les conditions météorologiques, la circulation, le sport et des informations urgentes.

L'audience des radiodiffusions dans la bande à ondes hectométriques continue d'être importante au Canada, au Mexique, et aux États-Unis. Une analyse récente des bases de données des radios gérées par la FCC (États-Unis), l'IFT (Mexique), et l'ISED (Canada) recense plus de 5 000 émetteurs de radiodiffusion à ondes hectométriques exploités dans les pays d'Amérique du Nord et desservant plus de 570 millions de personnes. Avec de vastes zones géographiques à couvrir, les émissions à ondes hectométriques constituent encore la manière la plus rentable d'atteindre des zones que les stations à ondes métriques ne peuvent pas couvrir.

FIGURE A8-7



A8-A2.3 Étude de marché

États-Unis

Rien qu'aux États-Unis, plus de 4 685 émetteurs à ondes hectométriques fonctionnent dans tous les 50 États. Dans ce pays, 64 698 500 auditeurs de plus de 18 ans écoutent chaque semaine la radio modulée en amplitude.¹²

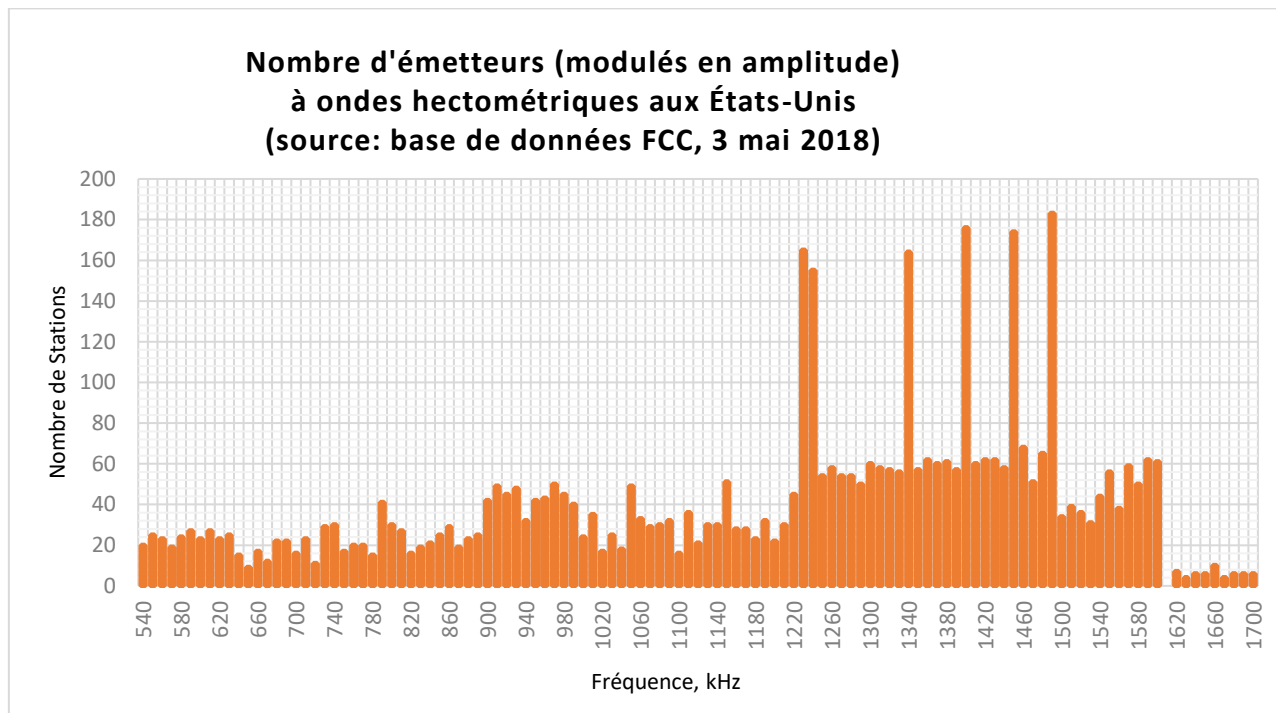
De manière traditionnelle, aux États-Unis, ces stations ont longtemps été connues pour les bulletins d'information, les discussions et les programmes de sport qu'elles diffusent en raison de la couverture de grande capacité qu'elles assurent, notamment en ce qui concerne les stations à haute puissance. Sur les dix principales stations de radio en Amérique, cinq sont des radiodiffuseurs à ondes hectométriques.

L'histogramme de la Fig. A8-8 illustre la répartition des 4 685 stations à modulation d'amplitude exploitées aux États-Unis en fonction des fréquences.

Nombre total de stations:	4 685
Niveau de puissance maximal:	50 kW
Niveau de puissance minimal:	0,135 kW

¹² Étude Nielsen automne 2017, nombre total de personnes 12+, Lundi-Dimanche 6 h 00-Minuit.

FIGURE A8-8



Canada

En juin 2017, la société Edison Research a publié la première étude intitulée Share of Ear® (concernant l'audience quotidienne) au Canada. Cette étude avait été commandée par le groupe de préconisation et de commercialisation du secteur de la radio «Radio Connects». Les résultats ont mis en évidence une audience de 61% de tous les auditeurs canadiens. Pour la même période, l'audience des États-Unis se montait à 50%.

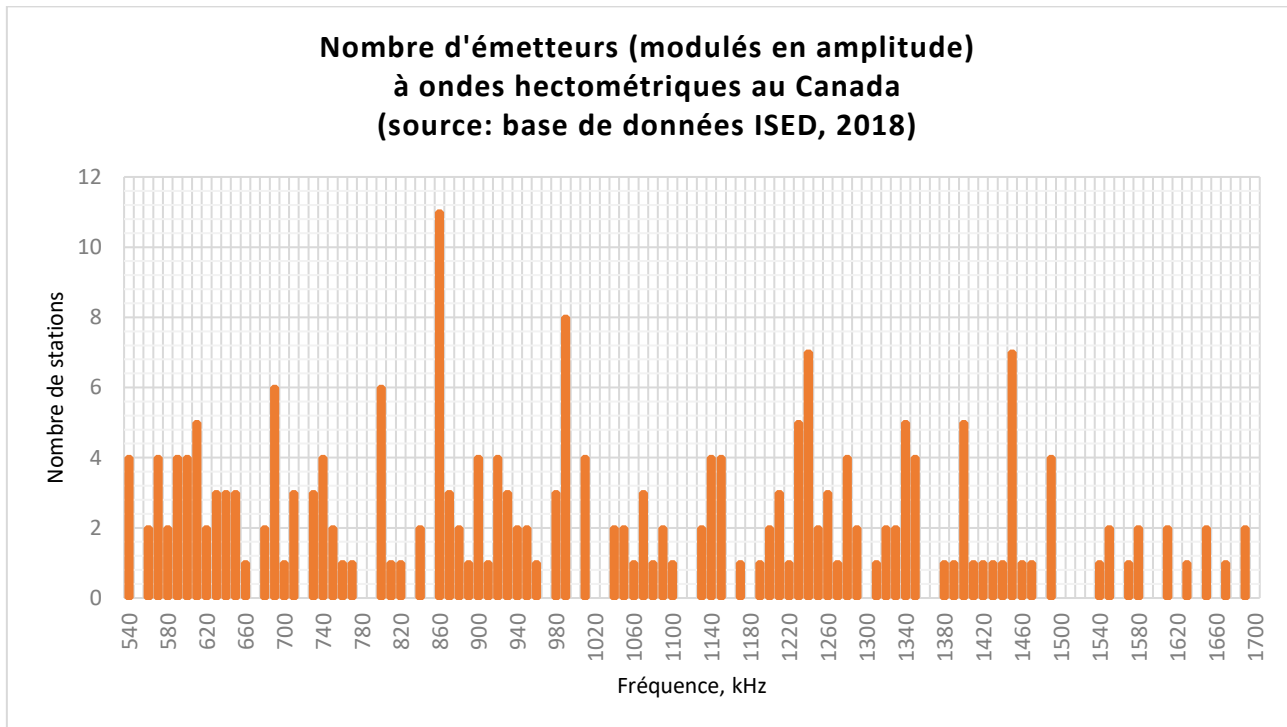
Si l'on constate un passage constant de l'audience des radios à ondes hectométriques (à modulation d'amplitude) vers les radios à ondes métriques (à modulation de fréquences), un groupe essentiel d'auditeurs de 227 stations radio à modulation d'amplitude se situe toujours au Canada. En outre, le Canada a protégé les assignations de canaux pour 482 fréquences à modulation d'amplitude supplémentaires.

Les Prairies canadiennes, région occidentale du Canada, comprenant les provinces de l'Alberta, de la Saskatchewan, et du Manitoba, constituent la partie canadienne des Grandes Plaines d'Amérique du Nord. Les Premières Nations, qui forment les peuples autochtones canadiens, ont une influence majeure sur la culture de cette région. La radio est un moyen très efficace pour desservir cette large zone géographique et pour cibler les différentes langues des indigènes. La radiodiffusion à ondes hectométriques est particulièrement appropriée pour fournir des signaux utilisables sur de larges zones géographiques.

L'histogramme de la Fig. A8-9 illustre la répartition des 227 stations à modulation d'amplitude exploitées sur le marché canadien et leurs fréquences.

Nombre total de stations:	227
Niveau de puissance maximal:	50 kW
Niveau de puissance minimal:	0,1 kW (pendant la nuit)

FIGURE A8-9



Mexique

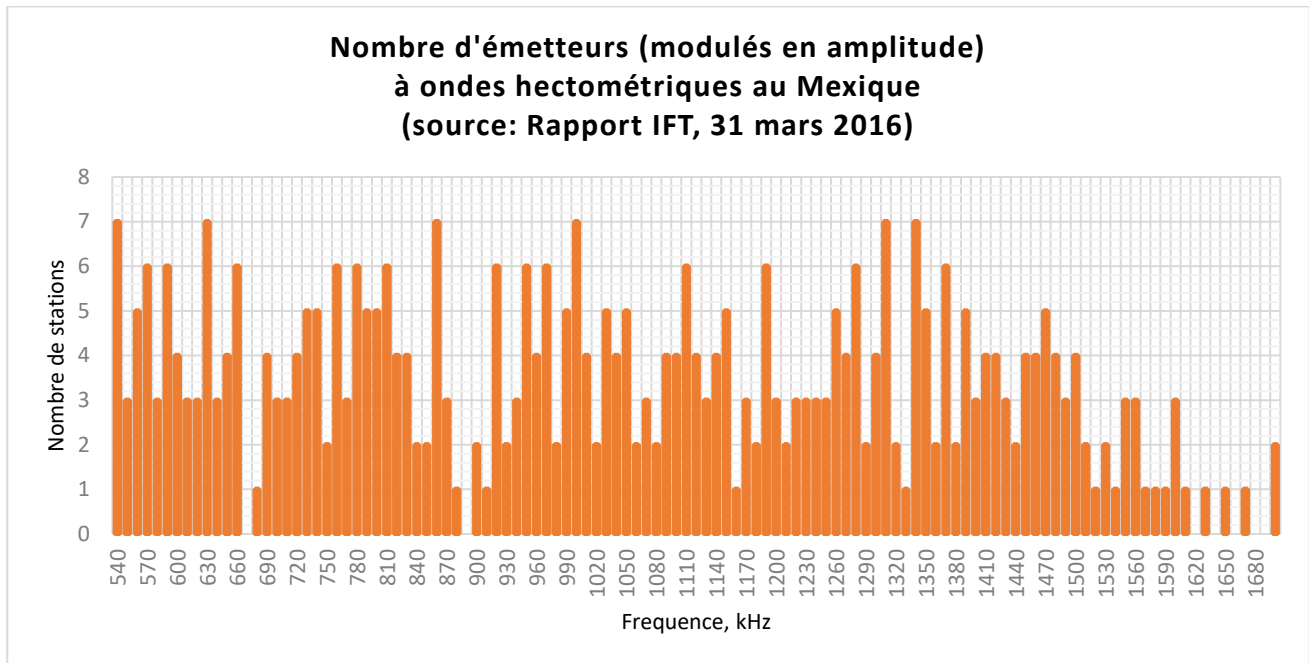
Une étude nationale des médias publiée par l'IFR en 2016 souligne que 15% de la population au Mexique écoute activement la radio à ondes hectométriques.¹³

L'histogramme de la Fig. A8-10 illustre la répartition des 393 stations à modulation d'amplitude et à ondes hectométriques au Mexique et leurs fréquences:

Nombre total de stations:	393
Niveau de puissance maximal:	250 kW
Niveau de puissance minimal:	0,025 kW (pendant la nuit)

¹³ IFT: Rapport trimestriel d'audience de la radio et de la télévision, avril-juin 2017.

FIGURE A8-10



Pièce jointe 3 à l'Annexe 8

Facteurs ayant une influence sur l'impact sous forme de brouillage préjudiciable

Puissance de sortie du dispositif WPT-EV – Cette puissance aura en effet un impact significatif sur la tendance du système WPT-EV à provoquer un brouillage préjudiciable. Plus la puissance est élevée, plus le risque de brouillage est important. Il faut examiner les rayonnements provenant des systèmes WPT-EV sur des fréquences en relation harmonique. Il existe de nombreux mécanismes différents qui provoquent le rayonnement des champs électromagnétiques en dehors des limites des systèmes WPT et rien ne permet de supposer que les niveaux de brouillage sont directement liés au niveau de l'énergie radioélectrique générée à l'intérieur des systèmes WPT-EV.

Distance de séparation – Sur de courtes distances¹⁴, le champ magnétique décroît avec le cube de la distance séparant la source de rayonnement du point de mesure. Le risque de brouillage augmente en conséquence de manière significative lorsque la source du brouillage se rapproche du récepteur concerné. De manière traditionnelle, les limites de la compatibilité électromagnétique fixées pour les «émissions rayonnées» provenant de tout dispositif sont définies à une distance de mesure pratique de 10 m du dispositif. Cela n'implique en aucune façon que la valeur de 10 m est une distance de séparation prévue ou représentative entre un dispositif WPT-EV et le récepteur victime du brouillage. Une distance de mesure de référence pour fixer les limites sur les champs parasites doit être précisée à une distance appropriée.

¹⁴ Moins de $\lambda/2\pi$ où λ est la longueur d'onde à la fréquence examinée.

Intermittence – Une brève salve de rayonnements, même à un niveau élevé, avec un faible rapport impulsion/pause est moins susceptible de provoquer un brouillage préjudiciable sur un service de radio qu'un dispositif qui fonctionne en continu. Sur un canal de radiodiffusion par exemple, une brève salve sera perçue sous forme d'un bref clic qui n'aura qu'un faible effet psychoacoustique.

Directivité de l'antenne – Cela ne s'applique probablement que dans des cas spécifiques. Si les rayonnements parasites sont, par exemple, dirigés verticalement vers le haut et tous les récepteurs affectés par le brouillage sont dispersés dans le sens horizontal autour du dispositif WPT-EV, le brouillage sera probablement minimisé. Dans la majorité des récepteurs radio, les systèmes d'antennes sont dans une certaine mesure directionnels mais il est difficile de garantir qu'un dispositif WPT-EV, non contrôlé, sera toujours placé, ou souvent positionné, dans le sens assurant une sensibilité minimale.

Affaiblissement par pénétration dans le bâtiment – A des fréquences élevées (plus fortes que celles envisagées pour un système WPT-EV), un mur ou toute autre barrière interposée entre le dispositif WPT-EV et le récepteur qui sera victime du brouillage, pourrait atténuer l'effet de tout brouillage. Néanmoins, dans le cas de systèmes WPT-EV à ondes kilométriques, cela ne se produira que si le mur ou la barrière se compose d'un matériau présentant une perméabilité magnétique élevée, ou est un conducteur ou intègre des éléments conducteurs. La majorité des matériaux de construction, des briques ou du bois etc. ne sont ni conducteurs ni magnétiques. Les essais non officiels menés par la BBC et décrits dans le Rapport de l'Ofcom Report étayaient ces observations. Certains bâtiments sont renforcés par des éléments de (conducteurs) métalliques intégrés dans du béton ou peuvent comporter des éléments plastiques et des courants de Foucault dans les éléments conducteurs, ce qui peut avoir une incidence sur les champs magnétiques. Toutefois, la majorité des bâtiments ne sont pas construits avec de tels matériaux. En outre, il n'existe aucune raison de supposer qu'un récepteur sera toujours utilisé à l'intérieur d'un bâtiment, et à distance d'un système WPT-EV.

Alignement des polarisations – En général sur la majorité des systèmes de radiocommunication, on essaie d'aligner la polarisation de l'antenne réceptrice sur celle de l'émetteur. Par exemple, un récepteur portatif de radiodiffusion à ondes kilométriques ou à ondes hectométriques comporte généralement une antenne à tige de ferrite montée dans le sens horizontal aux fins d'être le plus sensible au composant magnétique polarisé dans le sens horizontal du signal utile. Les émetteurs de radiodiffusion à ondes kilométriques ou à ondes hectométriques génèrent pratiquement toujours une composante de champ électrique polarisée dans le sens vertical et une composante de champ magnétique polarisée dans le sens horizontal, ce qui optimise la sensibilité du récepteur. Si un système de WPT-EV pouvait être conçu et exploité de telle sorte que la polarisation de son propre champ parasite se situe à angle droit par rapport à celui de l'antenne réceptrice, le brouillage serait un peu mieux toléré. En pratique, cela est très difficile à réaliser. Si le dispositif WPT-EV et le récepteur sont situés à proximité l'un de l'autre (moins d'un quart de longueur d'onde au niveau de la fréquence harmonique de fonctionnement ou de brouillage, zone du champ réactif), la polarisation réelle du champ magnétique (ou électrique) est difficile à contrôler ou même à vérifier. Si l'on ajoute à ce fait que tout rayonnement harmonique émis par le dispositif WPT-EV peut ne pas être lui-même lié à la polarisation prévue de «l'antenne», on suppose que les conditions d'un pire scénario s'appliquent et que rien ne justifie l'hypothèse selon laquelle les niveaux de brouillage seront inférieurs à la valeur maximale possible.

Pièce jointe 4 à l'Annexe 8

Dérivation du niveau maximal acceptable de brouillage du récepteur à modulation d'amplitude

La Recommandation UIT-R BS.703, «Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification», définit la sensibilité minimale d'un récepteur de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification:

- Bande 5 (ondes kilométriques): 66 dB μ V/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): 60 dB μ V/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): 40 dB μ V/m

La Recommandation UIT-R BS.560, «Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques», décrit les rapports de protection en vigueur pour les brouillages entre signaux de radiodiffusion en modulation d'amplitude. Bien que le système WPT-EV n'émette pas de signaux de radiodiffusion, ces signaux peuvent prendre la forme d'une porteuse (quasiment) non modulée et, en ce sens, elle est très proche d'un signal de radiodiffusion en modulation d'amplitude au cours d'une pause ou d'un passage calme capté par le récepteur. Les rapports de protection figurant dans la Recommandation UIT-R BS.560 peuvent donc être considérés comme un bon point de départ pour calculer les limites des émissions rayonnées provoquées par les systèmes WPT-EV.

En prenant comme point de départ les considérations de planification recommandées et les critères de protection figurant dans les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560, et notant que les récepteurs de radiodiffusion utilisés dans les habitations et aux alentours de ces dernières sont fréquemment dotés d'antennes à tige de ferrite qui répondent à la composante du champ magnétique H de l'onde, il est pratique d'utiliser les valeurs de champ H correspondantes lorsque l'on examine les limites des émissions rayonnées sur les équipements WPT-EV. Dans l'hypothèse de conditions de propagation en espace libre et en champ lointain (qui s'appliquent au signal de radiodiffusion reçu au niveau de l'antenne du récepteur), la relation entre le champ électrique et le champ magnétique (d'après les équations de Maxwell) est donnée par:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega$$

où μ_0 est la perméabilité de l'espace libre et ϵ_0 la permittivité de l'espace libre.

Cela signifie que les facteurs de conversion suivants s'appliquent:

$$H_{\left(\frac{\mu A}{m}\right)} = E_{\left(\frac{\mu V}{m}\right)} \cdot \frac{1}{377}$$

Ce qui s'exprime également comme suit:

$$H_{dB\left(\frac{\mu A}{M}\right)} = E_{dB\left(\frac{\mu V}{m}\right)} - 51,5 \text{ dB}$$

Ainsi, la sensibilité du récepteur en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques peut également s'exprimer comme suit:

- Bande 5 (ondes kilométriques): 14,5 dB μ A/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): 8,5 dB μ V/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): -11,5 dB μ V/m

La Recommandation UIT-R BS.560 traite de la protection d'un service radio à modulation d'amplitude contre un autre service similaire¹⁵. Plus important encore, cela signifie que les signaux utiles et brouilleurs comportent une onde porteuse à haute puissance et des bandes latérales à puissance beaucoup plus faible qui transmettent la modulation. Pour un programme à contenu vocal type avec une profondeur de modulation de 20% (en moyen quadratique), la puissance de la bande latérale/modulation représente 4% de la puissance de l'onde porteuse.

Les rapports de protection des radiodiffusions à modulation d'amplitude définis dans la Recommandation UIT-R BS.560 se composent de deux éléments:

- a) Le rapport de protection «dans le même canal», qui est nécessaire lorsque la source de brouillage et la porteuse du signal utile sont fondamentalement à la même fréquence (de sorte que tout battement entre eux possède une fréquence inférieure à la gamme audible; dans ce cas, la modulation de la source de brouillage est la cause prédominante de la perturbation audible).

Si le signal brouilleur provient d'une autre station de radio sur la même fréquence porteuse que le signal utile (ou une fréquence proche), la porteuse, bien que très large, peut passer inaperçue. Il a un effet sur la linéarité du détecteur de modulation d'amplitude que l'on ne peut détecter, tandis que l'onde porteuse brouilleuse se situe 13 dB ou plus au-dessous de la porteuse utile. Le signal utile doit être protégé uniquement des bandes latérales du signal brouilleur. On part du principe que le rapport de la puissance de la bande latérale sur la puissance de la porteuse est semblable pour les signaux utiles et brouilleurs; c'est pourquoi le rapport des puissances de la bande latérale correspond à celui des puissances de la porteuse.

La Recommandation UIT-R BS.560 préconise un rapport de protection dans le même canal entre le signal utile et le signal brouilleur (niveaux de la porteuse) de 40 dB. Le plan d'assignation des fréquences de Genève de 1975 (GE75) régissant ondes kilométriques et hectométriques tolère, dans certaines circonstances, un rapport de protection dans le même canal plus faible afin d'accueillir davantage de canaux dans le spectre disponible. Cet assouplissement ne s'applique pas aux cas où il existe un décalage entre porteuses brouilleuses et les porteuses utiles car le Plan GE75 ne prévoit pas de telles différences.

- b) Le rapport de protection «relatif» additionnel, qui doit être ajouté lorsque le signal utile et le signal brouilleur présentent des fréquences différentes, donnant lieu à un battement sonore audible continu; l'importance de cette correction est fonction du décalage de fréquence, essentiellement parce que la réponse en fréquence de l'oreille humaine n'est pas «plate», tant s'en faut. S'il existe un décalage entre la fréquence porteuse du signal utile et celle du signal brouilleur, le signal brouilleur lui-même (ou le signal sinusoïdal brouilleur provenant du système WPT-EV) prend progressivement le dessus sur le plan psychoacoustique et, du fait de la largeur du signal, une protection devient nécessaire. Entre 0 et 5 kHz environ, la courbe de protection est proche de celle de l'acuité auditive.

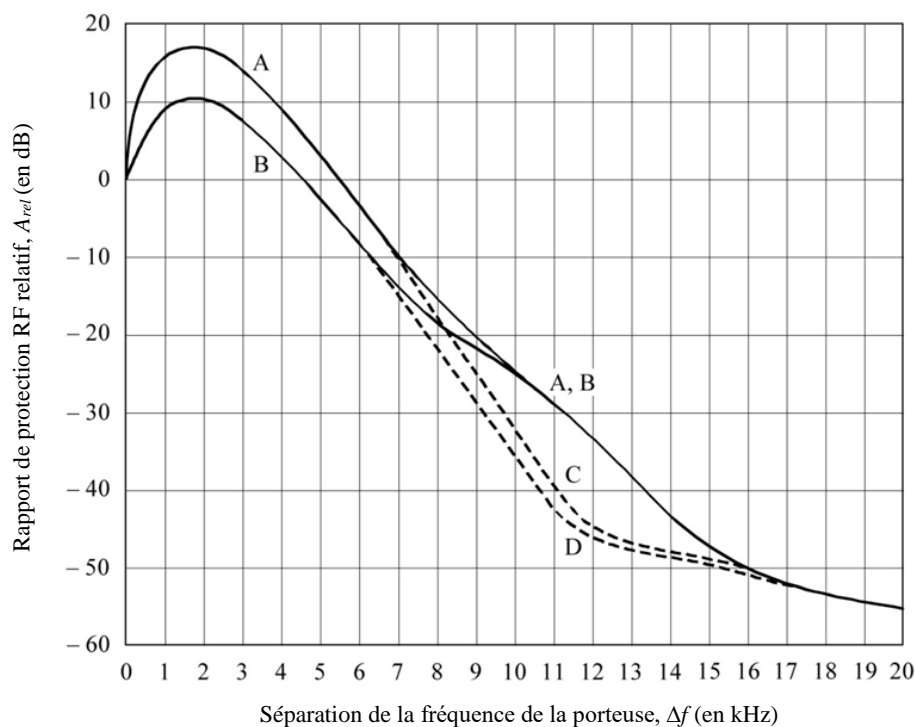
¹⁵ On est parti du principe que dans une bande de fréquences où seule une radiodiffusion à modulation d'amplitude bénéficie d'une attribution à titre primaire, la principale source de brouillage proviendrait des stations de radiodiffusion à modulation d'amplitude.

Il convient de noter que la Recommandation UIT-R BS.560 n'aborde pas le cas où il n'existe aucun décalage entre le signal utile et le signal brouilleur du système WPT-EV si celui-ci est non modulé. Dans la mesure où le décalage de fréquence se situe sous le seuil d'audibilité (ou sous le filtre des ondes kilométrique du récepteur), le mécanisme de perturbation au niveau du récepteur est différent, tout du moins sur le plan psychoacoustique. À la suite de tests subjectifs relatés dans le livre blanc WHP 332, la BBC a établi que si le signal brouilleur/du WPT-EV n'est pas modulé dans une gamme de plusieurs dizaines de Hz (seuil d'audibilité), un niveau de brouillage plus élevé peut être toléré. Voir § 5.2 sur les techniques d'atténuation.

La Fig. 1 de la Recommandation UIT-R BS.560, reproduite ci-dessous, montre la variation avec la fréquence de décalage du rapport de protection relatif.

FIGURE A8-11

Valeur relative du rapport de protection RF comme fonction de séparation porteuse-fréquence



La courbe considérée est la courbe A qui se fond dans la courbe C. La courbe B qui rejoint la courbe D est pertinente pour le signal audio hautement compressé avec une grande modulation, tandis que les courbes A et B supérieures d'environ 7 kHz concernent les transmissions dont la bande passante audio est de 10 kHz. Une part significative des transmissions à modulation d'amplitude est vocale, ce qui, même lorsqu'elles sont très compressées, ne produit pas de grande profondeur de modulation. Même si, dans certains cas, elles sont autorisées dans le plan de fréquences, très peu de transmissions à modulation d'amplitude ont une bande passante audio supérieure à 5 kHz. Le décalage de fréquence peut être positif ou négatif.

Le rapport de protection relatif additionnel correspondant au cas «non situé dans le même canal» devra être ajouté, à moins que les fréquences du dispositif WPT ne soient soigneusement alignées sur la grille de fréquences de radiodiffusion. Dans l'hypothèse où la fréquence WPT n'est pas contrôlée, il faut considérer que l'on se trouve dans le cas le plus défavorable. La Fig. A8-11 montre que le rapport de protection relatif maximal est égal à 16 dB environ, ce qui correspond à des décalages de fréquence de 2 kHz environ.

Dans le cas le plus défavorable, ce rapport de protection relatif doit être ajouté au rapport de protection dans le même canal, soit 40 dB, afin d'obtenir un rapport de protection global pour le brouillage de la radiodiffusion MA par le système WPT-EV: on obtient $(40 + 16) = 56$ dB.

Il ressort de ce qui précède que le champ du système WPT-EV maximum acceptable au niveau du récepteur de radiodiffusion est obtenu en retranchant ce rapport de protection de la sensibilité du récepteur. Le champ magnétique maximum acceptable du système WPT-EV au niveau du récepteur de radiodiffusion est donc égal à:

- Bande 5 (ondes kilométriques): (14,5-56) = -41,5 dB μ A/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): (8,5-56) = -47,5 dB μ A/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): (-11,5-56) = -67,5 dB μ A/m.

Traditionnellement, les champs minimaux indiqués dans la Recommandation UIT-R BS.703 reposent sur une profondeur de modulation présumée de 30% pour le signal à modulation d'amplitude. Les travaux menés par la BBC en 2007, dont les résultats sont en cours d'adoption par l'UIT-R, montrent qu'une profondeur de modulation présumée plus faible, de 20%, serait plus appropriée. Depuis la dernière révision de la Recommandation UIT-R BS.703, les radiodiffusions en modulation d'amplitude ont eu tendance à transmettre beaucoup plus de programmes à contenu vocal et bien moins de musique (populaire). Les signaux vocaux se caractérisent par une densité de modulation plus faible ponctuée par de courtes périodes de silence. Pour refléter une situation réelle où les signaux à modulation d'amplitude les plus faibles se situent autour de 3,5 dB en dessous des valeurs présumées émises dans la Recommandation UIT-R BS.703 (c'est-à-dire une profondeur de modulation de 20% au lieu de 30%), il convient de retrancher 3,5 dB aux chiffres indiqués dans les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560.

- Bande 5 (ondes kilométriques): (-41,5-3,5) = -45,0 dB μ A/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): (-47,5-3,5) = -51,0 dB μ A/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): (-67,5-3,5) = -71,0 dB μ A/m

La Recommandation UIT-R BS.1895 propose une autre méthode de calcul du niveau de brouillage admissible.

Les bords d'une zone de service d'un émetteur de radiodiffusion se définissent par le bruit. Le service est limité par le bruit. Lorsque toutes les sources de bruit et de brouillage dépassent une certaine proportion du niveau du signal utile, le service ne peut plus répondre aux critères de qualité fixés par l'UIT. Les principales sources de bruit et de brouillage proviennent de la nature, de l'activité humaine, des récepteurs et d'autres stations de radiodiffusion fonctionnant sur la bande attribuée.

Dans ce contexte, la Recommandation UIT-R BS.1895 définit des critères de protection pour les systèmes de radiodiffusion sonore terrestre. Plus précisément, elle préconise:

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

La Recommandation UIT-R BS.703 indique un champ minimal utilisable de 66 dB μ V/m pour les ondes kilométriques, 60 dB μ V/m pour les ondes hectométriques et 40 dB μ V/m pour les ondes décamétriques. Dans les trois cas, elle spécifie une profondeur de modulation de 30% pour le signal utile (présumé, en moyenne quadratique) et sur un rapport signal audio utile/bruit (aléatoire) de 26,0 dB¹⁶. Cela signifie que la puissance (de modulation) de la bande latérale utile doit être inférieure de 10,5 dB à la puissance de la porteuse et la puissance du bruit doit être inférieure de 26 dB, soit un total de 36,5 dB dans les deux cas. Le bruit (présumé) du système récepteur s'exprime comme suit:

- Bande 5 (ondes kilométriques): (14,5-10,5-26,0) = -22,0 dB μ A/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): (8,5-10,5-26,0) = -28,0 dB μ A/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): (-11,5-10,5-26,0) = -48,0 dB μ A/m

Pour respecter la Recommandation UIT-R BS.1895, la contribution d'un brouilleur sans statut dans la réglementation relative à la radiodiffusion doit être inférieure de 20 dB au bruit du système récepteur, ce qui donne les limites suivantes:

- Bande 5 (ondes kilométriques): (22,0-20,0) = -42,0 dB μ A/m
- Bande 6 (ondes hectométriques): (28,0-20,0) = -48,0 dB μ A/m
- Bande 7 (ondes décamétriques): (-48,0-20,0) = -68,0 dB μ A/m

lesquelles, on le constate, sont très proches de celles obtenues par la Recommandation UIT-R BS.560 (ci-dessus). L'utilisation de la valeur plus récente, soit 20% (en moyenne quadratique) pour la profondeur de modulation réduirait ces chiffres de 3,5 dB.

Pièce jointe 5 à l'Annexe 8

Distance de séparation prévue entre la borne de recharge d'un système WPT-EV et un récepteur à modulation d'amplitude domestique: étude photographique

Dans le cas d'une borne de recharge d'un WPT-EV située dans un environnement domestique, celle-ci sera vraisemblablement installée dans un garage ou une place de stationnement dédiée à côté du domicile du propriétaire. Les quatre images suivantes montrent une zone résidentielle britannique que l'on peut qualifier de typique. Elle a été choisie car l'un des auteurs y vit ou connaît une personne qui y réside, sans qu'elle ne présente de caractère exceptionnel.

¹⁶ On constate que cette valeur est moins stricte que les 40 dB préconisés dans la Recommandation UIT-R BS.560. Ceci s'explique par le fait que cette Recommandation prend en compte des programmes potentiellement intelligibles d'un autre radiodiffuseur et qui seraient plus intrusifs sur le plan psychoacoustique qu'un bruit aléatoire.

FIGURE A8-12

Logements typiques du centre-ville à Derby (Royaume-Uni)

(LOGEMENT EN CENTRE VILLE À DENSITÉ ÉLEVÉE)

L'étude conclut qu'il pourrait être difficile de prévoir un système de chargement de WPT-EV dans ce contexte et qu'il serait plus judicieux de prévoir des points de recharge au bord de la route

FIGURE A8-13

Zone résidentielle de la banlieue sud de Londres

(MAISONS DE BANLIEUE)

Une borne de recharge de WPT-EV peut être installée dans le garage (plusieurs maisons de ce quartier possèdent un garage attenant) ou sur la place de stationnement située à côté ou devant la maison

FIGURE A8-14

Maisons de campagne à environ 70 km au sud-est de Londres



(MAISONS RURALES)

Il s'agit d'un pâté de maisons isolé (entouré pour l'essentiel de terre agricole) mais semblable à bien des égards à la zone résidentielle de banlieue ci-dessus. Là encore, les bornes de recharge de WPT-EV pourraient être installées dans le(s) garage(s) ou les places de stationnement à côté ou devant la maison

FIGURE A8-15

Immeuble d'habitations à l'est de Londres



(IMMEUBLES D'HABITATIONS)

Bâtiment à plusieurs étages avec des garages fermés en rez-de-chaussée. Dans cette hypothèse, on a estimé que la borne de recharge du WPT-EV serait vraisemblablement située à l'intérieur du garage. Certains appartements ne disposent pas de garage et les occupants doivent se garer sur des places de stationnement libres

Au vu des exemples illustrés par les photos, on peut en déduire que, dans tous les cas, la distance qui séparerait une borne de recharge d'un WPT-EV du récepteur radio le plus proche serait de 3 mètres. Il est peu probable que cette distance soit inférieure à cette valeur, toutefois, dans le cas de l'immeuble d'habitations, il est fort possible de rencontrer deux bornes de recharge de WPT-EV à environ 3 mètres de distance d'un récepteur radio dans les appartements situés juste au-dessus des garages, et bien plus dans un rayon de 10 mètres. La présence d'une deuxième borne de recharge à 3 mètres de distance augmenterait le potentiel de brouillage de 3 dB.

Pièce jointe 6 à l'Annexe 8

Fonctionnement d'un récepteur de radiodiffusion sonore à modulation de fréquence en présence d'un brouillage provoqué par le système WPT-EV

Effet d'un brouillage émanant d'une porteuse non modulée

Introduction et contexte

Le présent rapport décrit les travaux menés par la BBC pour le compte de l'UER visant à définir des limites de champ acceptables pour le brouillage provoqué par des appareils de transmission de l'énergie sans fil pour des véhicules électriques (WPT-EV). Bien que la plupart des fréquences d'utilisation des WPT-EV recommandées soient en dehors des bandes de radiodiffusion, les niveaux harmoniques peuvent être perceptibles, ce qui pourrait nuire aux services de radiodiffusion à modulation d'amplitude. Généralement, les WPT-EV sont utilisés pour les appareils de faible puissance tels que les chargeurs de brosse à dent. Toutefois, leur utilisation est également envisagée pour la recharge de véhicules électriques impliquant une quantité importante de kilowatts, ce qui aggraverait le problème.

Les travaux visant à déterminer les limites acceptables des niveaux harmoniques reposaient jusqu'à présent sur les Recommandations UIT-R BS.560 et UIT-R BS.703. La Recommandation UIT-R BS.560 énonce au début: «Pour des émissions sur la même fréquence (± 50 Hz près), le rapport de protection en radiofréquence [...] devrait être de 40 dB». La Fig. 1 de la Recommandation UIT-R BS.560 indique le rapport de protection relatif (PR) comme fonction de la fréquence de brouillage relative (ou décalage). (Le rapport de protection est défini comme le rapport du signal utile sur les puissances des porteuses du brouilleur nécessaire pour atteindre un critère de qualité donné, généralement un rapport signal/bruit audio.) La Recommandation BS.703 ajoute que les champs minimaux pour obtenir une réception d'ondes kilométriques et hectométriques satisfaisante sont respectivement de 66 et 60 dB μ V/m.

Selon l'hypothèse formulée dans la Recommandation UIT-R BS.560, le brouillage proviendra d'un autre signal de radiodiffusion ayant des caractéristiques similaires au signal utile. Étant donné que le brouilleur d'un WPT-EV équivaut à celui d'une porteuse pure sans modulation, le présent rapport cherche à déterminer si cette Recommandation reste applicable. Il envisage notamment la possibilité d'un assouplissement, à condition que la fréquence du brouilleur soit étroitement contrôlée.

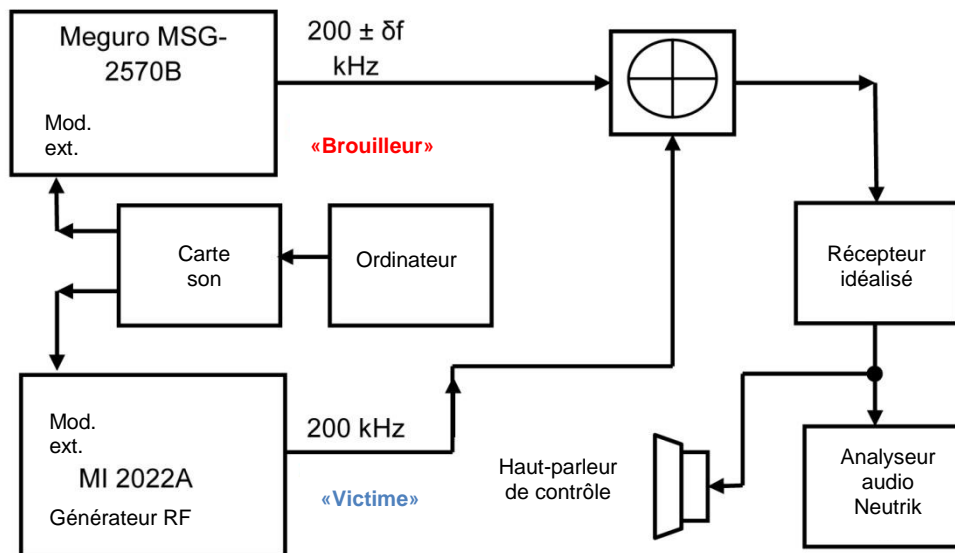
Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux sont illustrés à la Fig. A8-16. Il existe essentiellement deux générateurs de signaux qui assurent l'émission utile ou («victime») et le brouilleur. La modulation audio peut être appliquée à l'un, à l'autre ou aux deux signaux par le biais d'un ordinateur équipé d'une carte son. L'audio est extrait d'un programme «réel», enregistré dans les studios de Radio Five et traité par un processeur Orban Optimod (qui se trouve normalement dans la station d'émission).

L'émission utile et le brouilleur sont tous deux démodulés par un récepteur «idéal» conçu à cet effet. Il est doté d'une commande automatique de gain (AGC), d'un détecteur d'enveloppe de précision et d'un filtre passe-bas de 4,5 kHz. Il n'y a aucune sélectivité RF car cela est peu pertinent pour les travaux en cours. Un panel d'auditeurs non experts a été réuni pour évaluer le signal à la sortie du récepteur diffusé par des enceintes de qualité supérieure. L'écoute s'est déroulée dans un endroit calme du laboratoire mais non conçu spécifiquement pour un essai: la modulation d'amplitude n'étant pas un support de grande qualité, la location d'une salle d'écoute certifiée n'a pas été jugée nécessaire.

FIGURE A8-16

Installation expérimentale

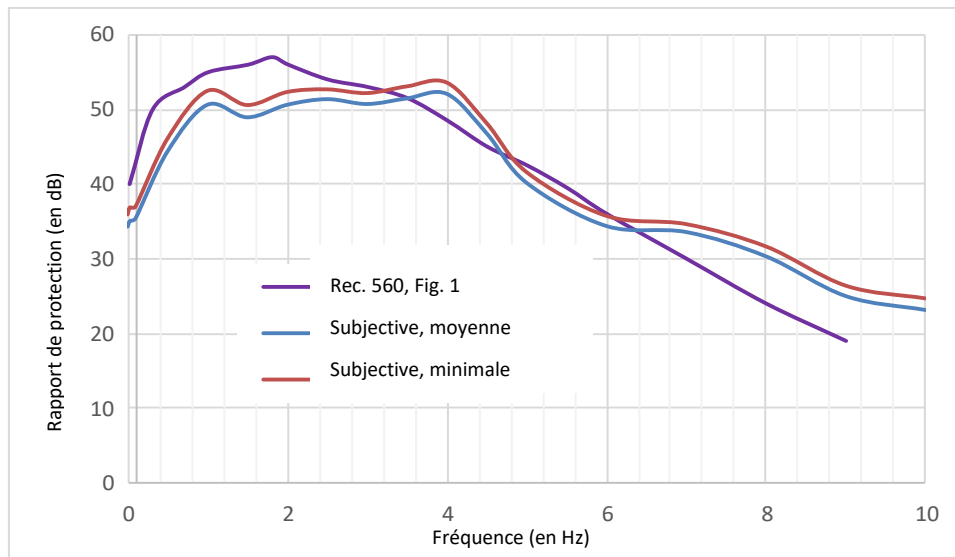


Vérification des Recommandations UIT-R BS.560 et UIT-R BS.703

L'installation expérimentale était configurée comme indiquée ci-dessus, dans une pièce cloisonnée DCT au centre de recherche et développement de la BBC. Pour l'émission utile ou «victime», le programme utilisé était un extrait de 27 secondes appelé «Jerusalem orchestra». On pouvait entendre une voix masculine pendant quelques secondes, suivie d'une voix féminine. Il y avait un décalage de moins d'une seconde à la fin de l'extrait pour pouvoir revenir au début. La modulation de la porteuse brouilleuse était la voix masculine reconnue comme celle de l'émission anglaise intitulée «Fighting Talk».

Le volontaire était invité à écouter le programme désiré en sortie du récepteur, à un volume confortable. Ensuite, le brouilleur a été ajouté à la fréquence de décalage requise, et le niveau a été relevé jusqu'à ce que l'auditeur déclare entendre le brouillage. Le niveau a ensuite été réduit jusqu'à ce que l'auditeur déclare ne plus l'entendre. Cette procédure a été répétée trois fois. Seuls les deuxième et troisième résultats ont été enregistrés, le premier visait à établir les réglages de niveau approximatifs. Les résultats sont indiqués ci-dessous pour les fréquences de décalage situées entre 0 Hz et 10 kHz.

FIGURE A8-17

Rapports de protection requis pour les brouilleurs modulés

Commentaires relatifs à la Fig. A8-17:

- La courbe «Subjective, moyenne» correspond à la moyenne des 40 figures pour cette fréquence (10 auditeurs, 4 figures chacun).
- La courbe «Subjective, Minimale» représente la moyenne des 20 figures pour la limite à partir de laquelle le brouilleur devient inaudible car volontairement réduit.
- Il est raisonnable de respecter la Recommandation UIT-R BS.560 en dessous de 3 kHz, en sachant que les réponses des auditeurs n'étaient pas «critiques». Avec l'expérience, le brouillage pourrait certainement être entendu à des niveaux de porteuses inférieurs à ceux indiqués par la courbe «Subjective, minimale».
- La réponse du haut-parleur n'était pas connue et, par conséquent, n'a pas été prise en compte. Idéalement, les essais auraient dû être répétés avec plusieurs haut-parleurs.
- Les chiffres de rapports de protection supérieurs à 3 kHz légèrement pessimistes peuvent refléter le manque de sélectivité RF.
- Au-dessus de 500 Hz, le seul composant audible était le battement entre les deux ondes porteuses qui a totalement submergé la modulation du brouilleur.

Protection requise avec une onde porteuse brouilleuse pure

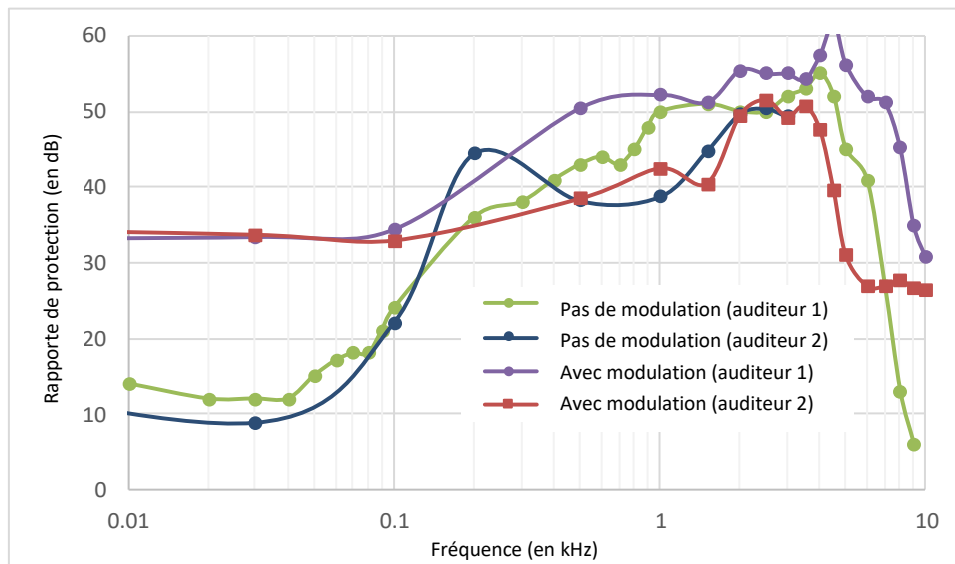
Les travaux décrits ci-dessus ont établi que les prescriptions énoncées dans la Recommandation UIT-R BS.560 étaient raisonnablement conformes à la réalité et avec les dispositifs expérimentaux de l'auteur. L'élément intéressant à établir est la différence de prescriptions si l'on supprime la modulation de l'onde porteuse brouilleuse.

Des mesures de rapports de protection complémentaires ont été effectuées, selon la même méthode, en retirant toutefois la modulation de la porteuse brouilleuse. L'utilisation du même panel d'auditeurs aurait été souhaitable mais pour divers motifs, notamment de maladie, l'opération s'est avérée impossible. Six auditeurs étaient issus du panel d'origine, rejoints par six nouveaux auditeurs. Bien que l'acuité et la cohérence variaient d'un auditeur à l'autre, tous les résultats ont été utilisés. Les mesures ont été restreintes à la gamme comprise entre 0 Hz et 1 kHz, étant donné que la composante de modulation était inaudible à des décalages plus importants.

Le graphique de la Fig. A8-18 ci-dessous compare les résultats des rapports de protection avec et sans modulation sur le brouilleur. Les courbes des rapports de protection avec une modulation sont les mêmes que celles de la section précédente. Pour faciliter l'interprétation des résultats, l'axe horizontal a une échelle logarithmique comprise entre 10 Hz et 1 kHz et couvrant les deux décades. Comme précédemment, les prescriptions énoncées dans la Recommandation UI-R BS.560 en matière de protection sont indiquées, bien qu'il ait été difficile de lire avec précision les données de la Fig. 1 de la Recommandation.

FIGURE A8-18

Rapports de protection préconisés avec des brouilleurs modulés et non modulés



Commentaires sur la Fig. A8-18:

- La réponse du haut-parleur n'était pas connue et, par conséquent, n'a pas été prise en compte. Idéalement, les tests auraient dû être répétés avec plusieurs haut-parleurs.
- Les courbes «Subjective, moyenne» et «Subjective, minimale» ont le même tracé que précédemment.
- À des fréquences supérieures à 300 Hz environ, où la principale composante du brouilleur est le battement de la porteuse, les résultats avec et sans modulation sur le brouilleur correspondent (à quelques décibels près), ce qui est encourageant compte tenu de la différence entre les panels d'auditeurs.
- En dessous de 300 Hz, où la modulation du brouilleur prédomine (lorsqu'il est présent), la courbe de rapport de protection se stabilise. Bien que les critères de la Recommandation UIT-R BS.560 semblent être plus stricts de 5 dB, ils correspondent au seuil d'audition de la plupart des auditeurs, conformément à la barre d'erreur indiquée dans le dernier commentaire ci-dessous.
- En dessous de 300 Hz, où il n'y a aucune modulation, le rapport de protection continue de faiblir à mesure que la fréquence diminue. La pente de la courbe est proche de 6 dB par octave ou de 20 dB par décade, conformément à la pondération 3 de la Recommandation UIT-R BS.468.
- En dessous de 50 Hz, le battement de la porteuse devient presque inaudible en raison de la baisse de la réponse du haut-parleur et du seuil d'audition de l'oreille humaine. Le facteur le plus important est la distorsion causée par la variation cyclique de la profondeur de la modulation.

- Les «barres d'erreurs» de $\pm 4,3$ dB ont été ajoutées à la courbe «Modulée, Minimale». Elles représentent l'écart quadratique entre l'acuité des différents auditeurs. Elles ne prennent pas en compte les éventuelles erreurs systématiques comme la réponse du haut-parleur.
- Il est évident que l'absence de modulation confère un avantage d'environ 25 dB sur le critère de rapport de protection préconisé par la Recommandation UIT-R BS.560, sous réserve que la fréquence de décalage puisse être maintenue en dessous de 50 Hz.

Brouilleur dans le même canal et qualité audio

Comme on l'a vu dans la section précédente, garder la fréquence d'un brouilleur non modulé proche de celle la porteuse utile (dans la mesure du possible) constitue un avantage. Pour approfondir cette possibilité, un panel de dix auditeurs a été invité à évaluer la qualité du son des trois extraits audio décrits ci-après:

- une présentatrice (27 secondes) (le même extrait utilisé pour vérifier la Recommandation UIT-R BS.560);
- de la musique (une soprano et un quatuor à cordes) (31 secondes);
- un présentateur et un jingle (45 secondes).

Les auditeurs ont été invités à noter chaque extrait selon l'échelle de dégradation en cinq points de la Recommandation UIT-R, 5 correspondant à «imperceptible» et 1 correspondant à «très gênant» (voir la Recommandation UIT-R BS.1284). Bien que non sanctionné par la Recommandation UIT-R BS.1284, une note de zéro a été accordée pour un son jugé inutilisable. Les notes avec décimal de type «3,7» ont également été autorisées afin que les auditeurs puissent relever les légères variations de la qualité du son.

Cinq niveaux de brouilleurs ont été testés: -5 ; -10 ; -15 ; -20 et $-\infty$ dB. Le brouilleur lui-même présentait un décalage de 0 Hz ou de 30 Hz. Dans le premier cas, les deux porteuses n'étaient pas synchrones et se retrouvaient lentement en phase ou déphasées. Cette situation était perçue comme plus réaliste que le blocage du brouilleur sur la porteuse utile. Lorsque les ondes porteuses étaient en opposition de phases, la porteuse qui en résultait était en surmodulation, causant de graves distorsions audio. Le niveau sonore était également à son maximum puisque le récepteur AGC agit sur le niveau moyen du signal. Inversement, lorsque les porteuses étaient en phase, la profondeur de la modulation et le niveau sonore étaient au minimum et la distorsion disparaissait.

FIGURE A8-19

Notes de dégradation pour les différents niveaux de brouilleur non modulé

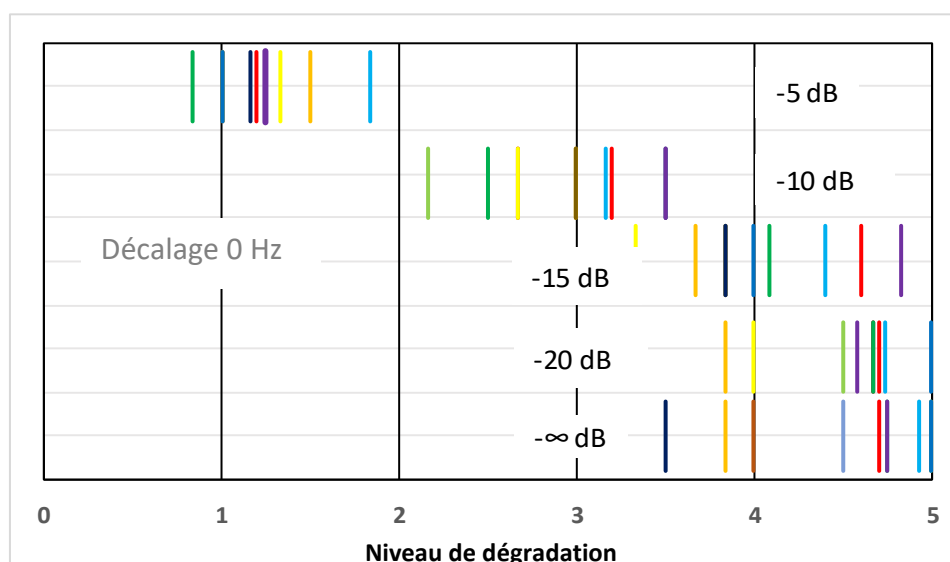
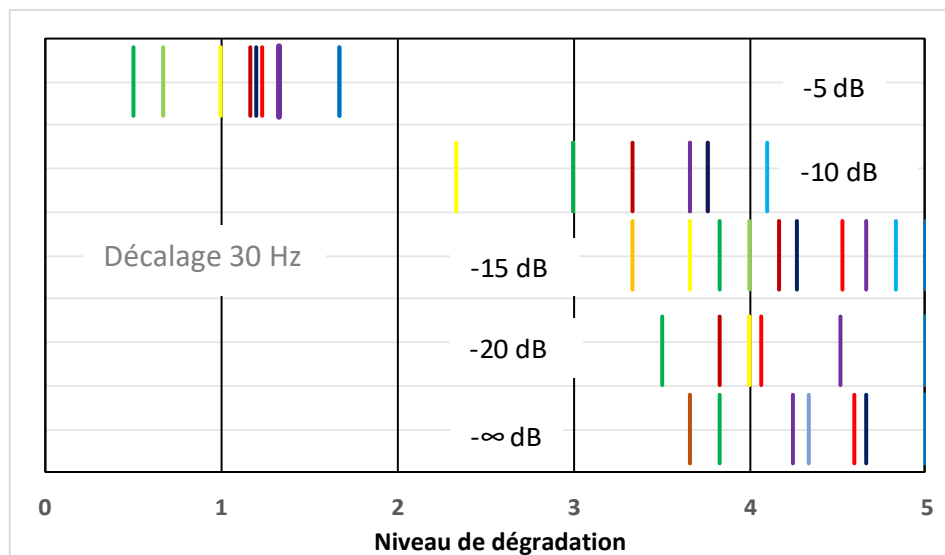


FIGURE A8-20

Notes de dégradation pour les différents niveaux de brouilleur non modulé

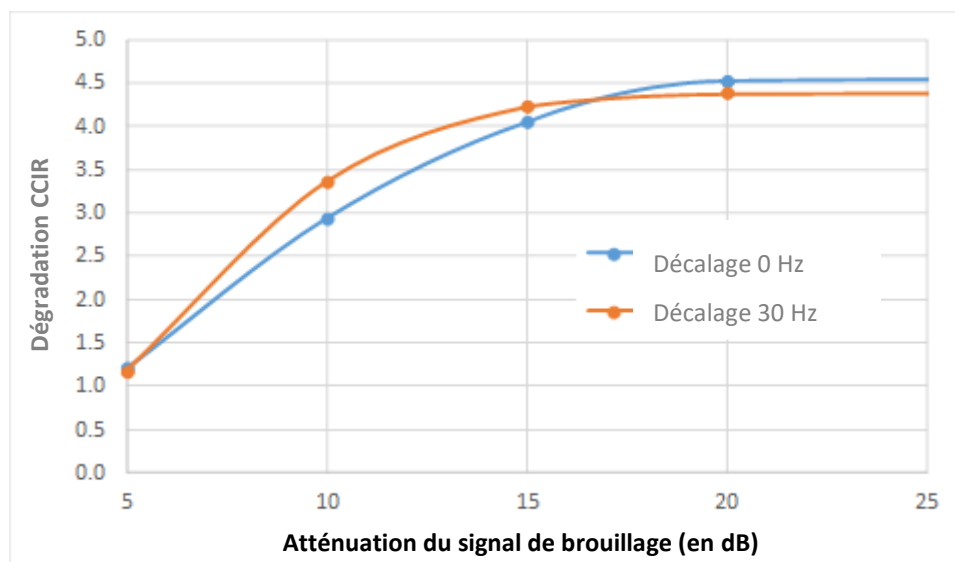


Sur les Fig. A8-19 et A8-20, les notes des auditeurs sont représentées par un trait vertical, selon la couleur attribuée à chacun d'entre eux. Ces notes constituent les moyennes des trois extraits. Comme nous le verrons plus loin, les notes des trois extraits sont très différentes les unes des autres.

La moyenne des résultats des dix auditeurs est indiquée ci-dessous:

FIGURE A8-21

Notes de dégradation par rapport au niveau du brouilleur



Commentaires sur la Fig. A8-21:

- Le décalage à 30 Hz se révèle être plus bénin que celui à 0 Hz, sauf si le brouillage est extrême. Ceci est probablement dû au fait que l'AGC du récepteur ne répond pas totalement aux variations à 30 Hz au niveau de la porteuse et ne crée donc pas d'effets de «pompage» perceptibles.
- Pour les deux décalages, le brouillage est inaudible à -20 dB et à peine audible à -15 dB.
- À partir de -15 dB, lorsque le brouillage augmente, sa présence devient plus désagréable. Lorsque le brouillage dépasse -10 dB, la qualité audio est très mauvaise.

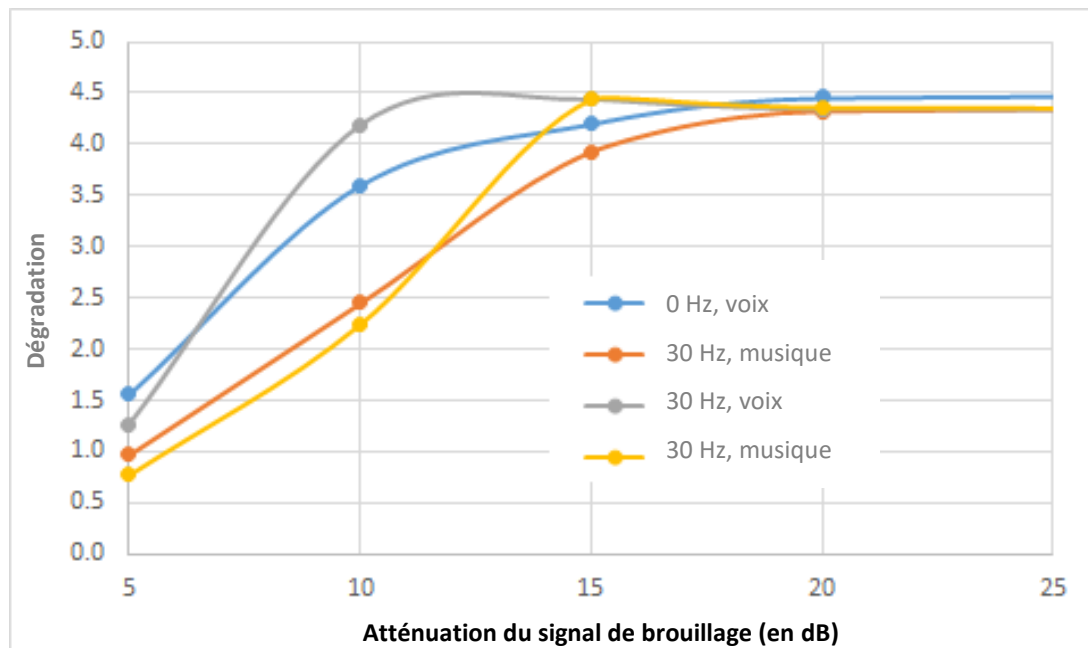
Il convient d'examiner l'effet de l'introduction d'un faible décalage de fréquence car à première vue, il semble légèrement bénéfique. Le tableau ci-dessous montre qu'en réalité, la situation est plus complexe. «Voix» désigne l'extrait audio 1 et «Musique» indique l'extrait audio 2.

Le décalage est réellement bénéfique pour la voix et le brouillage à -10 dB sans perturber l'auditeur. En revanche, ce n'est pas le cas pour la musique où le décalage a plutôt tendance à détériorer la qualité du son. Durant les essais, la différence d'effet que le brouillage provoquait sur la voix et la musique était assez frappante: à -10 dB et à 30 Hz, le brouillage était à peine perceptible sur l'extrait vocal mais très désagréable sur l'extrait musical.

Il semble que le problème avec l'enregistrement musical soit causé par la réponse de l'AGC au battement de la porteuse à 30 Hz, d'où l'intermodulation de celle-ci sur la porteuse utile. Le son musical acquiert ainsi des bandes latérales de 30 Hz, ce qui a un effet délétère car elles ne se situent pas en relation harmonique. Les signaux vocaux sont plus complexes et contiennent déjà un grand nombre de composantes spectrales. Il en résulte un son plus proche du bruit et les bandes latérales de 30 Hz qui s'ajoutent font peu de différence.

FIGURE A8-22

Comparaison des notes de dégradation entre l'extrait vocal et musical



Champs acceptables du brouilleur des WPT-EV

Les derniers travaux consistent à établir un lien entre les rapports de protection indiqués dans les Figs. A8-21 et A8-22 et les champs existants. L'opération peut être effectuée simplement comme suit:

- Selon la Recommandation UIT-R BS.703, le champ minimal pour une réception satisfaisante des ondes hectométriques est de $60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.
- Ce chiffre est converti en $\text{dB}\mu\text{A/m}$ en soustrayant $51,5 \text{ dB}$. (L'impédance de l'espace libre, Z_0 , est de 377Ω , et $20 \log_{10} 377$ est égal à $51,5$.) Ainsi, $60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ correspond à un champ magnétique de $60 - 51,5 = 8,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$.

- Le rapport de protection préconisé dans la Recommandation UIT-R BS.560 est de 40 dB à une fréquence de décalage de zéro. Le champ correspondant est donc de $8,5 - 40 = -31,5$ dB μ A/m.

Il convient de souligner que les travaux décrits ci-dessus indiquent qu'un rapport de protection de 18 dB est approprié à condition que le brouillage soit maintenu aux environs de 50 Hz pour la fréquence de la porteuse victime, soit un assouplissement de 22 dB. En d'autres termes, une limite de -10 dB μ A/m suffirait.

Pour la réception d'ondes kilométriques, la Recommandation BS.703 fixe un champ minimal de 66 dB μ V/m, soit -6 dB de plus par rapport à la courbe d'ondes hectométriques. Dans ce cas, la limite correspondante serait de -4 dB μ A/m.

Les champs *électriques* admissibles n'ont pas été pris en compte dans le présent rapport ou dans la partie [2], ce qui semble raisonnable étant donné que le système WPT-EV repose sur des champs magnétiques et que la plupart des récepteurs d'ondes kilométriques et hectométriques utilisent des antennes à tige de ferrite ou des antennes-cadres. Par prudence, les normes telles que [2] devraient sans doute indiquer à la fois les champs électriques et les champs magnétiques. Un rapport de protection de 18 dB correspond à 48 dB μ V/m pour les ondes kilométriques et à 42 dB μ V/m pour les ondes hectométriques.

Conclusion

Dans la présente pièce jointe, on a étudié le brouillage provoqué par l'utilisation d'appareils WPT-EV sur les services de radiodiffusion en modulation d'amplitude dans le but de déterminer le champ magnétique maximum admissible. Les conclusions sont les suivantes:

- La Recommandation UIT-R BS.703 préconise un rapport de protection de 40 dB pour le brouillage dans un même canal pour les services de radiodiffusion à modulation d'amplitude, tandis que la Recommandation UIT-R BS.560 indique une valeur *relative* lorsque la porteuse de la source de brouillage est décalée. Les travaux expérimentaux décrits dans le présent rapport confirment ces chiffres.
- Les travaux expérimentaux indiquent également que lorsque la source de brouillage est une porteuse non modulée, un assouplissement de la valeur préconisée est possible en dessous de 500 Hz environ. Un rapport de protection de 18 dB est suffisant pour des décalages de fréquence de 50 Hz ou moins. À noter qu'un décalage de 0 Hz ne présente aucun avantage, sauf si le brouilleur peut être verrouillé pour être en phase avec la porteuse utile.
- En prenant l'hypothèse de champs magnétiques minimums des services de diffusion à 66 dB μ V/m et 60 dB μ V/m, les niveaux maximaux acceptables de brouillage cocanal par une porteuse non modulée sont de -4 dB μ A/m pour les ondes kilométriques et de -10 dB μ A/m pour les ondes hectométriques.

Il convient de souligner que les dispositifs expérimentaux utilisés pour ces essais d'audition ont montré leur limite et les résultats doivent être considérés comme provisoires. Idéalement, et si l'on dispose de suffisamment de temps et de moyens financiers, les essais devraient être renouvelés en double aveugle dans une salle d'écoute certifiée avec la possibilité de vérifier tous les paramètres. Toutefois, ces résultats provisoires donnent une bonne indication des résultats définitifs.

Références pour cette pièce jointe

- [1] Wikipédia, 2017. Transmission d'énergie sans fil.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Transmission_d%27%C3%A9nergie_sans_fil.
- [2] ETSI, 2017. «Wireless Power Transmission Systems, Using Technologies Other than Radio Frequency Beam, in the 19-21 kHz, 59-61 kHz, 79-90 kHz, 100-300 kHz, 6 765-6 795 kHz ranges: norme harmonisée couvrant les exigences essentielles de l'article 3.2 de la Directive 2014/53/EU.» ETSI EN 303 417 V1.1.1 (2017-06) (version finale).
- [3] Recommandation UIT-R BS.560-4, Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques.
- [4] Recommandation UIT-R BS.703-0, Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification.
- [5] Recommandation UIT-R BS.1284-1, Méthodes générales d'évaluation subjective de la qualité du son.

Pièce jointe 7 à l'Annexe 8

Études complémentaires réalisées à l'aide d'un récepteur disponible sur le marché

Contexte et introduction

Ces travaux complètent une étude préalable décrite dans le livre blanc de la BBC WHP 332 (publié en novembre 2017) et reproduite ici comme Pièce jointe 6 à l'Annexe 8. La présente étude complémentaire utilise un vrai récepteur portatif disponible sur le marché avec les signaux utiles et indésirables émis grâce à des antennes-cadres magnétiques qui stimulent les antennes à tige de ferrite intégrées au récepteur lui-même. Cette démarche répond à trois objectifs:

- montrer que le récepteur de référence défini dans la Recommandation UIT-R BS.703 est comparable à un vrai récepteur;
- permettre un essai «grandeur nature» des interactions supposées entre les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 utilisées lors de la planification des bandes de radiodiffusion des ondes kilométriques et hectométriques et de la détermination des limites acceptables de brouillage pour les systèmes¹⁷;
- reproduire certaines des mesures effectuées auparavant avec un dispositif d'essai différent.

¹⁷ Pour obtenir le niveau de brouillage maximum admissible en valeur absolue, le rapport de protection tel que défini dans la Recommandation UIT-R BS.560 doit être lié au champ du signal utile au niveau de l'antenne du récepteur. La Recommandation UIT-R BS.703 fixe la sensibilité minimale requise pour le «récepteur de référence» à 60 dB μ V/m. À ce niveau de signal, le récepteur doit pouvoir offrir un rapport signal/bruit en audio-fréquence de 26 dB. La référence est de 30% en modulation d'amplitude avec un détecteur non pondéré de valeurs efficaces (RMS) utilisé pour mesurer le bruit.

Les travaux du livre blanc WHP 332 ont été menés avec un récepteur «idéal» («idéal» signifiant qu'il n'introduit aucun bruit de lui-même et offre une réponse à fréquence «plate» avec une bande passante de modulation de 4,5 Hz à -6 dB). En outre, le signal utile et un signal à fréquence unique simulant un système WPT-EV comme élément brouilleur ont été associés avant d'être injectés dans le récepteur «idéal». Il s'agissait d'une connexion filaire qui n'impliquait aucune antenne. L'approche «puriste» a été adoptée pour éliminer le plus de variables possibles. Toutefois, certains font valoir qu'une double vérification permettant de montrer que cette approche correspond à la réalité serait souhaitable.

La première étude a principalement conclu que pour des signaux à fréquence unique, représentant une source de brouillage, séparés de l'émission utile par plus de 500 Hz, les Recommandations UIT-R BS.560 et UIT-R BS.703 constituent une base adaptée pour définir la protection requise contre les niveaux de brouillage. («Protection» est définie comme le rapport des niveaux de signaux utiles sur les niveaux de signaux indésirables présentés au récepteur.) La qualification «de plus de 500 Hz» est importante car des niveaux de brouillage sensiblement plus élevés peuvent être tolérés à des distances de séparation de fréquences plus faibles.

Les travaux décrits ci-dessous reproduisent certaines des études préalables, en utilisant cette fois-ci une vraie radio bon marché recevant les signaux hors antenne.

Choix du récepteur

Au moment où l'étude a été menée, trois récepteurs portatifs représentatifs commercialisés, d'ancienneté différente, étaient disponibles:

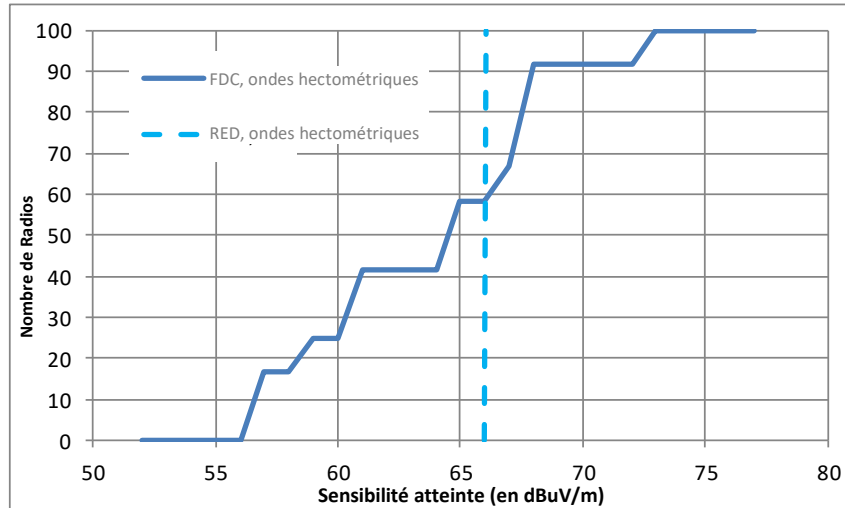
- Panasonic GX500;
- Roberts RP26-B; et
- Sony ICF-700W.

Une évaluation subjective a montré que le récepteur de la marque Panasonic était celui qui produisait le moins de bruit interne, c'est pourquoi il a été choisi pour la suite des essais. Le récepteur sélectionné était emblématique des produits bon marché d'entrée de gamme. Étant donné que la sensibilité et la largeur de bande de la modulation ont une grande incidence sur les résultats, certaines informations sont détaillées ci-dessous.

Un certain nombre de radios portatives avaient déjà été mises à l'essai pour la spécification ETSI EN 303 345, «Broadcast Sound Receivers: Harmonised Standard' covering the essential requirements of Article 3.2 of the Radio Equipment Directive (RED) 2014/53/EU». Une fonction de répartition de leurs sensibilités est représentée ci-dessous. Environ deux tiers des radios étaient plus sensibles que le critère de 66 dB μ V/m proposé par l'ETSI.

FIGURE A8-23

Fonction de distribution cumulative (FDC) des sensibilités d'un lot de radios portatives types



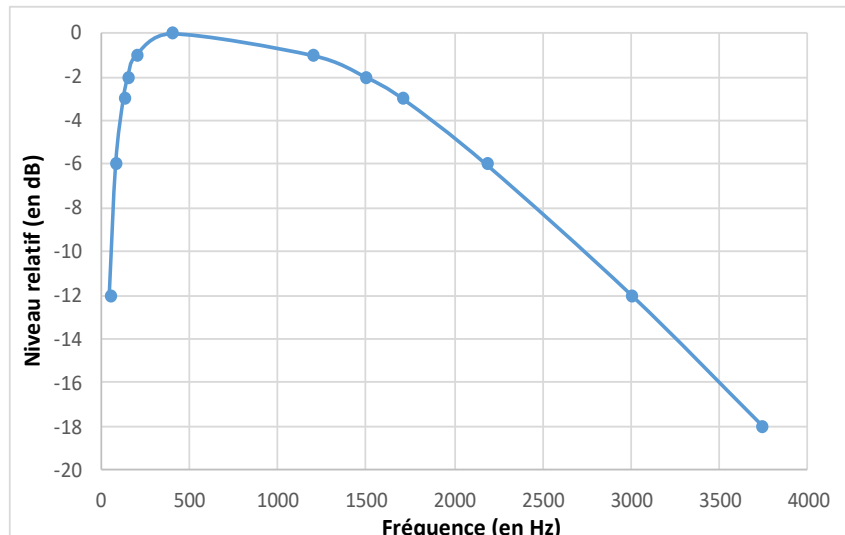
À noter qu'ici, la sensibilité n'est pas définie de la même manière que dans la Recommandation UIT-R BS.703. Ce point est abordé un peu plus loin mais pour le moment, les critères fixés par la Recommandation UIT-R BS.703 et la spécification EN 303 345 peuvent être considérés comme équivalents. Le point important est que la radio Panasonic GX500 a atteint une sensibilité de 65 dBµV/m sur la même échelle, soit une valeur conforme aux critères de l'ETSI. Panasonic est un produit type dont les performances en termes de bruit sont comparables à ceux du récepteur de référence de l'UIT.

Autre élément important: la réponse en modulation de fréquence du récepteur, car elle déterminera à la fois le niveau de bruit en sortie et l'impact du système WPT-EV en termes de brouillage. Un graphique est représenté à la Fig. A8-24 ci-dessous.

Il convient de souligner que la réponse chute brutalement au-delà de 1,5 kHz, tandis que celle du récepteur «idéal» précédent restait globalement plate à 4 kHz. L'étroitesse de la bande passante induit une plus grande tolérance au système WPT-EV et améliore la sensibilité mesurée (ce qui n'est pas le cas de la fidélité audio).

FIGURE A8-24

Réponse en modulation de la radio portative choisie



Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai était à peu près similaire à celui décrit dans le livre blanc WHP 332, avec deux générateurs de signaux RF, un réglé à 999 kHz et utilisé pour émettre la transmission utile, un autre réglé à 1 001 kHz et émettant un signal brouilleur (non modulé) avec un décalage de 2 kHz.

FIGURE A8-25

Dispositif d'essai dans la chambre blindée R & D de la BBC

Les deux signaux ont été «émis» à partir d'antennes-cadres calibrées distinctes. Pour éliminer les autres sources de brouillage, les générateurs, les antennes-cadres et le récepteur ont été placés dans une chambre blindée RF équipée d'un ordinateur sur lequel étaient installés les programmes nécessaires aux essais d'écoute (lui-même constituant une source non négligeable de bruit radio en dehors de la zone d'essai). L'analyseur audio était connecté au récepteur par une liaison à fibres optiques. Toutes les alimentations secteur entrantes ont été filtrées et tous les équipements non nécessaires ont été éteints.

Sur la Fig. A8-25, la radio portable est placée au centre, posée sur une boîte en carton pour permettre à son antenne en tige de ferrite d'être alignée à l'axe des antennes-cadres. Les deux antennes-cadres sont placées de part et d'autre de la radio, à 600 mm de distance (le champ magnétique présentait une relation simple avec la sortie mesurée des générateurs de signaux, ce qui facilitait et améliorait la précision de la configuration). À côté de la radio (mais peu visible) se trouve l'émetteur pour la liaison à fibres optiques. Hors champ se trouve un instrument de mesure pour assurer une double vérification du champ généré par les antennes-cadres. Les deux générateurs de signaux RF se trouvent derrière l'antenne de gauche.

FIGURE A8-26

Dispositif d'essai tel qu'utilisé pour le livre blanc WHP 332

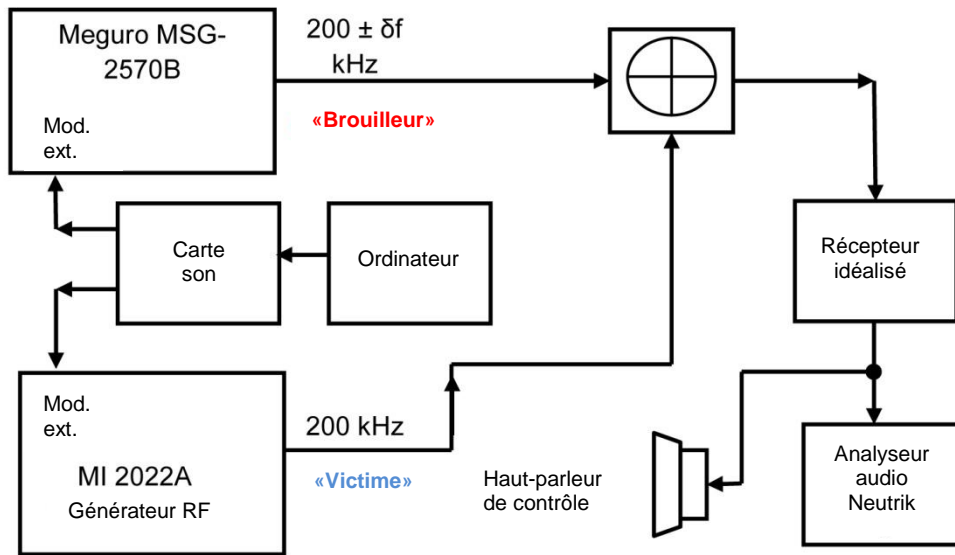
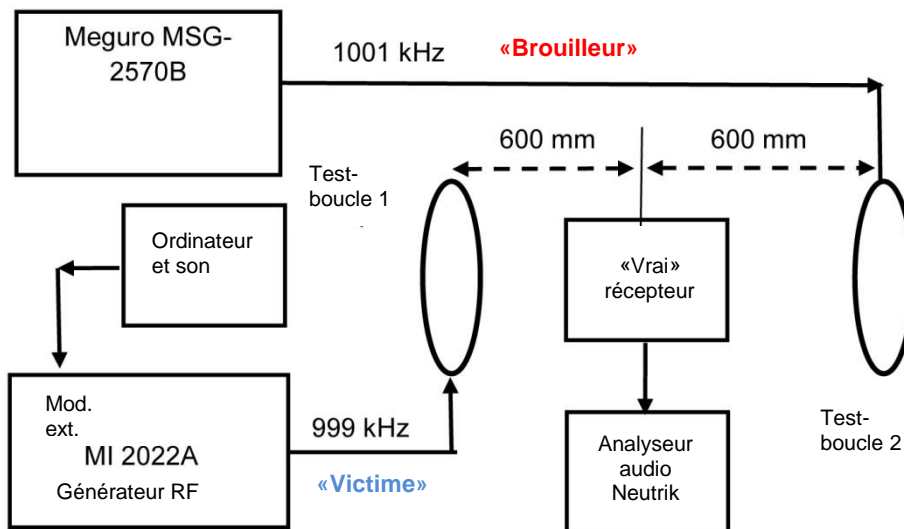


FIGURE A8-27

Dispositif modifié pour les travaux actuels



Le schéma d'origine (Fig. A8-26) et le dispositif d'essai actuel (Fig. A8-27) sont indiqués ci-dessus. Globalement, les deux dispositifs sont les mêmes, sauf pour le brouillage et la transmission utile qui sont combinés dans le dispositif Ether et non pas par voie électronique. L'utilisation d'antennes d'essai et d'un haut-parleur interne signifie que le «vrai» récepteur ne comporte aucune connexion électrique.

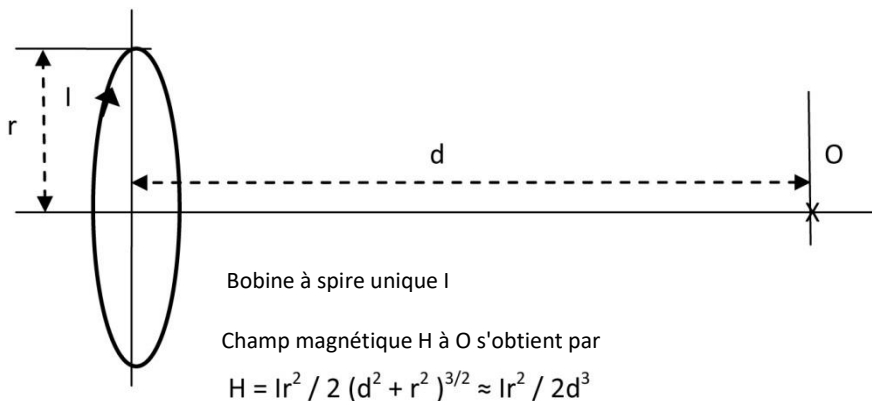
Le même extrait audio a été utilisé pour tous les essais correspondants. Il se composait d'une partie vocale de 16 secondes suivies de 2 secondes de silence et de 12 secondes de musique. Il provenait du réseau à ondes hectométriques en direct de la radio BBC Radio Five et enregistré «en aval» du processeur de transmission. Un grand nombre de radios à modulation d'amplitude sont fondées sur la parole. Cette dernière se caractérise notamment par des profondeurs de modulation plus basses, de courtes pauses fréquentes à la fin de la phrase de l'orateur et des temps de respirations. De faibles niveaux de brouillage peuvent être masqués par le signal audio mais peuvent être tout aussi intrusifs durant les pauses, et c'est ce que les auditeurs remarquent le plus souvent.

Étalonnage

L'étalonnage a été réalisé avec minutie. Un wattmètre thermique a été utilisé pour vérifier la puissance en sortie des générateurs à un niveau indiqué de 0 dBm (1 mW dans une impédance de terminaison de 50 Ω). Réglé à -33 dBm, le générateur doit donner un niveau de signal de 8,5 dBμA/m au niveau du récepteur, une valeur qui a été vérifiée par l'instrument de mesure du champ magnétique. Ce dernier est calculé comme suit:

FIGURE A8-28

Champ magnétique généré par une boucle formant une antenne conductrice



La Fig. A8-28 donne le champ magnétique H issu d'un courant I dans la bobine. Le courant se définit par le générateur EMF V et la résistance source R , ce qui donne $I = V/R$. Le rayon de la bobine r est de 125 mm et la distance d est 600 mm.

L'équation peut être remaniée afin de trouver le courant nécessaire pour générer un champ donné à O .

$$I = H \cdot (2d^3 / r^2)$$

Pour que le champ soit à 8,5 dB μA/m

$$\begin{aligned} H &= 10^{(8.5/20)} \mu\text{A/m} \\ &= 2,66 \mu\text{A/m} \end{aligned}$$

Le courant nécessaire doit être de:

$$\begin{aligned} I &= 2,66 \mu\text{A/m} \cdot (2 \cdot 0,6^3 / 0,125^2) \\ &= 73,54 \mu\text{A} \end{aligned}$$

Le générateur EMF nécessaire doit donc être à:

$$\begin{aligned} V &= 73,54 \mu\text{A} \cdot 136 \Omega \\ &= 10 \text{ mV} \end{aligned}$$

La résistance de source de 136Ω inclut 50Ω du générateur RF lui-même et 86Ω faisant partie de la boucle formant l'antenne. Pour que H soit égal à $2,66 \mu\text{A/m}$ (ou $8,5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$), V doit être égal à 10 mV . La sortie du générateur (EMF) est calibrée en dBm, 0 dBm correspondant à un générateur EMF de 448 mV , et 10 mV est donc l'équivalent de $20 \log(10/448)$ ou -33 dBm .

La réponse du récepteur a déjà été mentionnée. Une mesure ultérieure confirme que la réponse est de -4 dB à 2 kHz (la fréquence de décalage de la source de brouillage) par rapport à 1 kHz (tonalité d'alignement du système). Ainsi, pour obtenir une vraie comparaison des résultats attendus avec un «bon» récepteur dont la réponse serait plate, il convient d'augmenter le niveau de la source de brouillage de 4 dB .

Qualité du récepteur utilisé pour les essais actuels

Pour garantir «la neutralité» des essais menés avec la radio portative, on doit comparer le niveau de sensibilité avec celui du récepteur de référence indiqué dans la Recommandation UIT-R BS.703. Le Tableau A8-4 résume au mieux les résultats des mesures effectuées.

TABLEAU A8-4

Rapport signal/bruit obtenu par une radio portative

Champ	S/B, réf. 40% en mod. d'amplitude		S/B, réf. 30% en mod. d'amplitude
	Non pondéré (dB)	Pondéré (dBq)	Non pondéré (dB)
60	26	18	23,5 (26)
65 (66)	30	22	28

Le Tableau A8-4 indique que le bruit émis par le récepteur Panasonic est $2,5 \text{ dB}$ plus mauvais que celui du récepteur de référence de la Recommandation UIT-R BS.703 (en rose) mais dépasse les critères prescrits par l'ETSI de $66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ (en bleu) de 1 dB . Pour cette radio en particulier, le bruit pondéré est 8 dB au-dessus du bruit non pondéré. Il n'existe aucune différence «universelle» entre les valeurs du bruit pondéré et celles du bruit non pondéré car la bande passante du récepteur constitue un facteur important. Durant les travaux menés pour la spécification EN 303 345, les valeurs ont été fixées à 10 dB : 4 dB à convertir entre la valeur efficace et la quasi-crête et 6 dB pour la réponse croissante du filtre de pondération. Avec le récepteur Panasonic, les valeurs étaient légèrement inférieures en raison de la mauvaise qualité de la réponse en modulation.

Point important: il est possible de faire en sorte que la radio atteigne la qualité du récepteur de référence en augmentant le champ entrant de $2,5 \text{ dB}$; lorsque le bruit externe est négligeable, le rapport signal/bruit augmente au prorata du niveau de signal. En d'autres termes, la radio atteindra avec un rapport signal/bruit de référence de 26 dB avec une modulation d'amplitude de 30% avec un champ de $11 \text{ dB}\mu\text{A/m}/62,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Bien entendu, il est nécessaire d'augmenter la source de brouillage dans les mêmes proportions pour maintenir des niveaux relatifs corrects, notamment lors des essais d'écoute.

Aucune étude exhaustive sur le bruit ambiant n'a été menée, mais une sortie en extérieur avec la radio indique que la réception est limitée par le bruit interne de la radio, du moins à certains endroits. Les critères fixés par la Recommandation UIT-R BS.703 et la spécification EN 303 345 semblent donc raisonnables.

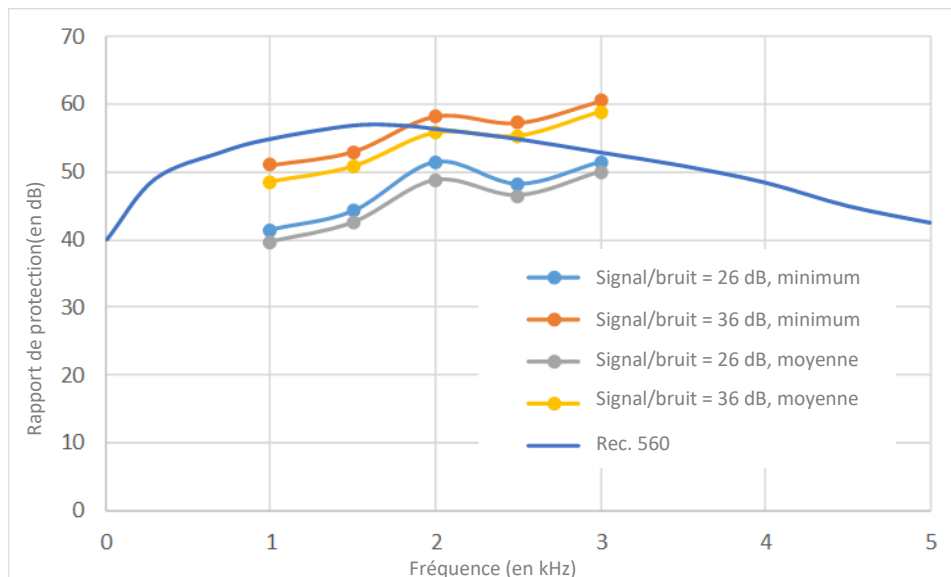
Seuils de brouillage

Les travaux précédents sur les seuils de brouillage ont été menés avec un récepteur silencieux. Il est donc possible que le bruit présent en sortie d'un «vrai» récepteur ait un effet masquant. Dans ce cas, un assouplissement des limites de brouillage du système WPT-EV indiquées dans le livre blanc WHP 332 peut se justifier. Pour le savoir de manière rigoureuse, il faudrait réitérer les essais d'écoute prescrits dans le livre blanc WHP 332. Ceux-ci impliquent de diffuser des extraits de programmes sur l'«émetteur» utile et de demander à un panel d'auditeurs de déterminer le niveau auquel le brouillage devient audible. Ces essais doivent être reproduits sur une large gamme de fréquences de décalage. Bien qu'en principe simples, ces essais d'écoute demandent une certaine organisation et il n'a pas été possible d'appliquer cette démarche avec les ressources disponibles.

Plutôt que de reproduire tous les travaux précédents, une approche plus pragmatique a été adoptée. Un seul auditeur évaluait le seuil auquel le brouillage devenait audible à deux niveaux de signal utile différents. Le niveau 1 a été choisi pour donner un rapport signal/bruit de 26 dB (par rapport à une profondeur de modulation MA de 30%) pour imiter la qualité du récepteur de référence fonctionnant à 60 dB μ V/m, le niveau 2 était supérieur de 20 dB, lorsque le bruit était inférieur de 10 dB et beaucoup moins gênant. Ainsi, une petite différence a pu être établie et utilisée pour «corriger» les valeurs d'origine avec un récepteur «silencieux». Toutes les incertitudes de l'expérimentation auraient un effet négligeable, sous réserve que la différence soit réellement faible.

FIGURE A8-29

Seuil de brouillage à fréquence unique avec un «vrai» récepteur



«Fréquence» désigne le décalage de fréquence par rapport à la porteuse à modulation d'amplitude.

Pour chaque décalage de fréquence, dans la gamme comprise entre 1 et 3 kHz et le niveau de signal utile, le niveau de signal brouilleur augmentait progressivement et devenait le niveau enregistré auquel le brouillage commençait à être audible. Un deuxième niveau a été enregistré, auquel le brouillage devenait imperceptible car il était diminué. Le processus a été reproduit quatre fois et les moyennes ont été relevées. Dans la Fig. A8-29, les valeurs «minimales» correspondent au deuxième niveau, tandis que les valeurs «moyennes» sont la moyenne des premier et deuxième niveaux. Ceci permet de comparer les données avec celles de la Fig. A8-21. En représentant les résultats sous forme de graphique, une tolérance a été appliquée pour la réponse des bandes latérales du récepteur, sans quoi les courbes disparaîtraient au niveau des fréquences élevées.

L'étude a conclu que la présence de bruit masque le brouillage qui peut ainsi être de 8 dB au-dessus de la normale en l'absence de bruit.

Un autre essai a été mené dans le but de quantifier la différence psychoacoustique entre le bruit aléatoire (blanc) et la source de brouillage à fréquence unique. À la limite, le bruit total du système est un mélange de bruit du récepteur et de bruit ambiant. Si l'on s'éloigne des limites de sensibilité dans les zones où le bruit ambiant est susceptible d'être plus élevé, le bruit du récepteur devient moins important et le bruit du système dans son ensemble est principalement constitué du bruit ambiant.

Un brouillage à fréquence unique a été injecté au même niveau que le bruit total du système¹⁸, comme il a été mesuré en sortie audio du récepteur avec un détecteur RMS puis progressivement réduit par tranche de 2 dB jusqu'à ce qu'il devienne inaudible, masqué par le bruit du système. L'effet du brouilleur a cessé d'être gênant (bien que toujours audible) lorsque le niveau avait été réduit de 8 dB et avait disparu lorsqu'il avait été réduit de 10 dB. Dans des environnements plus bruyants, les niveaux de bruits absolus seraient plus élevés mais le rapport entre le brouilleur et le bruit du système dans son ensemble resterait le même, soit de -8 dB à 610 dB si la source de brouillage audible devait être évitée. Dans les environnements où le bruit du récepteur lui-même est insignifiant, la source de brouillage devrait se situer 8 à 10 dB en dessous du niveau du bruit ambiant pour être inaudible.

Conclusions

Les mesures relevées avec le récepteur Panasonic GX500 ont été, dans l'ensemble, conformes à celles précédemment effectuées avec un système idéalisé pour quantifier le niveau de brouillage admissible lorsqu'une source de brouillage à fréquence unique correspond au canal de radiodiffusion. L'hypothèse formulée lors du calcul du champ admissible issu des Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 est correcte. Toutefois, un certain nombre d'éléments n'ont pas été vérifiés durant les essais.

Validité de la Recommandation UIT-R BS.703 – Récepteur de référence comme donnée

La qualité du récepteur Panasonic GX500 n'a pas atteint celle supposée du récepteur de référence. Sa réponse en fréquence audio n'était pas plate et son bruit était légèrement supérieur. Il s'agit d'un récepteur portatif relativement bon marché et les travaux menés auparavant par la BBC indiquent que des récepteurs de meilleure qualité sont disponibles. Ceci signifie donc que la spécification relative au récepteur de référence est, comme elle le devrait, représentative d'une qualité raisonnable d'un récepteur disponible sur le marché et, par conséquent, les études précédentes qui reposaient sur le récepteur de référence sont parfaitement valables. La Recommandation UIT-R BS.703 fixe en effet le niveau de bruit total du système à la marge de la réception, en partant d'une profondeur de modulation de 30% et d'une modulation de bruit aléatoire (système), à 26 dB. Le bruit du système dans son ensemble est donc de 60 dB μ V/m (niveau de porteuse minimum préconisé dans la Recommandation UIT-R BS.703) moins 10,5 dB (niveau de modulation inférieur à la porteuse) moins 26 dB (rapport signal utile/bruit) plus 3 dB (gain de correction de la bande latérale), ce qui fait 26,5 dB μ V/m ou -25 dB μ A/m (magnétique). En pratique, ce niveau serait le résultat du mélange entre bruit interne du récepteur et bruit ambiant. En partant du principe que les deux sources de bruit contribuent à parts égales au bruit du système, chacun serait de -28 dB μ A/m; une valeur qui augmenterait de 3 dB une fois additionnées. Selon les calculs réalisés par le Japon énoncés dans la Recommandation UIT-R P.372, les valeurs sont proches du niveau de bruit ambiant attendu dans un cadre rural, ce qui n'a rien de surprenant.

¹⁸ Pour cet essai, un récepteur idéalisé a été utilisé avec un bruit aléatoire délibérément injecté à l'équivalent de -31 dB μ A/m pour simuler la qualité du récepteur de référence indiquée dans la Rec. 703.

Effet masquant du bruit du système

Lorsque le brouillage est faible, il peut être masqué par la présence d'une modulation audio. Les radiodiffuseurs ayant de plus en plus tendance à utiliser la radio à modulation d'amplitude pour les programmes vocaux, ces derniers présentent de nombreux silences et pauses pendant lesquels le brouillage est audible ou gênant car il n'est pas masqué. Un brouillage par fréquence unique est plus perturbant qu'un bruit aléatoire. Les essais subjectifs précédents décrits dans le livre blanc de la BBC WHP 332 ont été réalisés avec un récepteur silencieux idéalisé. La présence de bruit de fond aléatoire pendant les pauses s'est avérée avoir un effet masquant sur le brouillage. Un essai subjectif impliquant un auditeur mais répété plusieurs fois révèle que l'effet masquant du bruit du système pourrait permettre d'assouplir le niveau de bruit admissible de 8 dB à des fréquences éloignées de la porteuse de radiodiffusion. Ceci n'a aucun effet sur les niveaux indiqués dans le livre blanc WHP 332.

Niveau du brouillage par rapport au bruit du système

En raison de son effet psychoacoustique plus intrusif, un brouillage par fréquence unique doit se situer au moins 8 dB en dessous du bruit total du système pour être audible, quel que soit l'emplacement. Le bruit total du système dépendra lui-même de l'emplacement. Dans les environnements électriques les plus calmes, le bruit interne du récepteur prédominera mais dans des environnements plus bruyants (banlieues et villes, par exemple), le bruit ambiant l'emportera. Les orientations statistiques sur les niveaux de bruits ambiants escomptés dans différents cadres sont disponibles dans la Recommandation UIT-R P.372. Toutefois, il convient de souligner que ces niveaux sont donnés à titre indicatif et ne doivent pas être utilisés comme des objectifs. Ceci ne remet pas en question le principe général selon lequel le bruit électrique doit toujours être minimisé.

Références pour cette pièce jointe

- [1] BBC Research and Development White Paper WHP 332, novembre 2017 – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception.
- [2] Rapport UIT-R BS.2433-0 – «Évaluation de la profondeur de modulation pour les émissions de radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude» (10/2018).

Annexe 9

Analyse de l'UER visant à rapprocher les résultats de l'étude d'impact décrite à l'Annexe 5 avec les limites prescrites pour les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV pour la protection des radiodiffusions à modulation d'amplitude du paragraphe 4.4

Introduction

L'Annexe 5 «Étude d'impact du système WPT-EV réalisée en Chine» décrit les études de réception menées sur les émissions de radiodiffusion en ondes hectométriques dans la zone de Shanghai. À première vue, il ressort de cette étude que des niveaux de brouillage largement supérieurs à ceux préconisés dans les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 n'ont aucun effet indésirable sur la réception des radiodiffusions (voir le § 4.4). Cependant, les conditions d'essai utilisées pour l'étude sont assez différentes des conditions de réception présumées dans les Recommandations UIT-R, ce qui n'est guère surprenant.

La planification du réseau de radiodiffusion de l'UIT des régions 1 et 3, à savoir en Europe, repose sur les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560. L'étude menée dans la présente annexe consiste à comparer les résultats obtenus à Shanghai avec la situation en vigueur dans une partie de l'Europe afin de les rapprocher. L'application de facteurs de correction appropriés permet de constater que ces résultats correspondent.

Les niveaux de brouillage mesurés durant les essais effectués à Shanghai sont apparemment largement supérieurs aux niveaux de champ admissible qui ont été déterminés à la suite des études mentionnées au § 4.2.2. Toutefois, la puissance du signal de radiodiffusion plus élevée et les effets potentiellement masquants du bruit ambiant important et de la profondeur de modulation élevée (du signal de radiodiffusion) indiquent que les résultats obtenus à Shanghai sont globalement conformes aux critères de protection fixés par l'UIT-R. En substance, il est probable que les effets conjugués d'un haut niveau de signal de radiodiffusion, d'un bruit ambiant important et d'une grande profondeur de modulation aient masqué l'impact du brouillage dû à tout système WPT-EV. Il n'est donc pas surprenant que dans ce cas, seul un faible impact, voire aucun impact du système WPT-EV n'ait été relevé.

Cependant, et plus largement, il convient de protéger les signaux de radiodiffusion les plus faibles dans des environnements où le bruit ambiant est moins important, ce qui est l'objectif des niveaux admissibles indiqués au § 4.4.

A9.1 Résumé

Le § A5.1.2 mentionne une étude de coexistence entre le système WPT-EV et la radiodiffusion en ondes hectométriques remise à l'UIT par la République populaire de Chine. Elle décrit les études de réception menées sur les émissions de radiodiffusion en ondes hectométriques dans la zone de Shanghai. À première vue, il ressort de cette étude que des niveaux de brouillage largement supérieurs à ceux préconisés dans les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 n'ont aucun effet indésirable sur la réception des radiodiffusions. Cependant, les conditions d'essai utilisées pour l'étude menée en Chine sont assez différentes des conditions de réception présumées dans les Recommandations UIT-R, ce qui n'est guère surprenant.

La planification du réseau de radiodiffusion dans les Régions 1 et 3 de l'UIT, à savoir en Europe, repose sur les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560. L'étude a été menée en vue de comparer les résultats obtenus à Shanghai avec la situation en vigueur dans une partie de l'Europe

afin de les rapprocher. L'application de facteurs de correction appropriés permet de constater que ces résultats correspondent.

Les niveaux de brouillage mesurés durant les essais effectués à Shanghai sont apparemment largement supérieurs aux niveaux de champ admissible qui ont été déterminés à la suite des études mentionnées au § A5.1.3. Toutefois, la puissance du signal de radiodiffusion plus élevée et les effets potentiellement masquants du bruit ambiant important et de la profondeur de modulation élevée (du signal de radiodiffusion) indiquent que les résultats obtenus à Shanghai sont globalement conformes aux critères de protection fixés par l'UIT-R. En substance, il est probable que les effets conjugués d'un haut niveau de signal de radiodiffusion, d'un bruit ambiant important et d'une grande profondeur de modulation aient masqué l'impact du brouillage dû à tout système WPT-EV. Il n'est donc pas surprenant que dans ce cas, seul un faible impact, voire aucun impact du système WPT-EV n'ait été relevé.

Cependant, et plus largement, il convient de protéger les signaux de radiodiffusion les plus faibles dans des environnements où le bruit ambiant est moins important, ce qui est l'objectif des niveaux admissibles indiqués au § 4.4.

Un certain nombre de facteurs pouvant avoir un impact important sur les résultats n'ont pas été quantifiés dans le rapport d'étude de Shanghai. Parmi ceux-ci, on peut citer le type de programme (du signal de radiodiffusion entrant), la réponse du récepteur en audio fréquence et l'orientation du récepteur. Ces facteurs ainsi que les effets potentiels sont analysés ici. Les estimations prudentes des effets quantitatifs de ces facteurs figurent également dans cette analyse. Par ailleurs, il n'existe aucune explication quant à la nature potentiellement anormale des valeurs de champ de brouillage dans la colonne 9 du Tableau 4 (Annexe 1 du présent rapport). Le champ devrait varier en fonction du cube de la distance, soit 18 dB si la distance est multipliée par deux. Le tableau indique, par exemple, un champ de 6,3 dB μ A/m à 10 mètres et (seulement) 14 dB μ A/m à 5 mètres, alors qu'il devrait être de 24,3 dB. En se rapprochant, le champ se réduit. Ces valeurs ont été prises «au pied de la lettre» sans avoir été interprétées.

A9.2 Définitions

A9.2.1 Orientation – Bruit, brouillage et effet masquant

La radio à modulation d'amplitude n'est pas un support de haute-fidélité, et ce, notamment, en raison des effets du bruit et du brouillage. Le critère de planification cité plus haut et reposant sur les Recommandations UIT-R BS.703 et UIT-R BS.560 définit le niveau de qualité de base admissible.

Les perturbations affectant la radio à modulation de fréquence (ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques) relèvent de trois catégories. En réalité, la réception de la radio à modulation de fréquence est généralement affectée par l'association de ces trois catégories.

A9.2.2 Bruit aléatoire

Le bruit ambiant (bruit naturel et bruit artificiel) et le bruit du récepteur. Le rapport signal/bruit aléatoire en audio fréquence minimal admissible préconisé par l'UIT est de 26 dB sur la base d'une profondeur de modulation en audio fréquence supposée de 30%¹⁹.

¹⁹ Si l'on part du principe que l'«indice de modulation» se situe à 30%, la puissance du signal en audio fréquence sera plus faible de 13,5 dB par rapport à celui de l'onde porteuse. Parce que le signal audio est corrélé sur toutes les bandes latérales supérieures et inférieures d'un signal à modulation de fréquence composite, cela se traduit par un gain de correction de 3 dB sur le bruit aléatoire.

A9.2.3 Chevauchement des sources audio

D'autres stations de radiodiffusion à modulation d'amplitude. Sur le plan psychoacoustique, la présence d'une autre source de brouillage perceptible est plus intrusive que le bruit aléatoire. C'est pourquoi l'UIT a fixé le critère de protection d'une autre source audio à 40 dB. Généralement, ce sont les stations de radio qui constituaient les autres sources audio sur les bandes à modulation d'amplitude et c'est ce rapport de protection qui définit la séparation géographique entre les stations à modulation d'amplitude fonctionnant sur la même fréquence dans le processus de planification. D'habitude, il y a bien plus de demandes de canaux à modulation d'amplitude que de canaux disponibles, c'est pourquoi dans certains scénarios de planification, ce critère est assoupli: il passe de 40 dB à 26 dB, ce qui s'accompagne d'une baisse de la qualité. Cette dernière est généralement convenue par les parties concernées au cours de conférences de planification régionales. Voir par exemple la Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques pour les Régions 1 et 3 (Genève, 1975).

A9.2.4 Signaux sinusoïdaux uniques

Étant donné que le service de radiodiffusion dispose d'une attribution à titre primaire sur les bandes de radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques, on a émis l'hypothèse que la principale source de brouillage proviendrait d'une autre station de radiodiffusion à modulation d'amplitude. Un signal à modulation d'amplitude se compose d'une large composante porteuse sinusoïdale transportant relativement peu d'informations sur les bandes latérales; c'est pourquoi, en tant que source de brouillage, elle peut être considérée comme un signal sinusoïdal unique. Un signal sinusoïdal unique (ou une porteuse sinusoïdale d'une autre station de radiodiffusion) constitue une source de brouillage plus pernicieuse qu'une source audio. En fonction de la fréquence, la Recommandation UIT-R BS.560 préconise d'augmenter le rapport signal utile/signal indésirable de 16 dB (de 40 dB à 56 dB). Si le signal de brouillage indésirable est décalé de 2 kHz par rapport à la porteuse utile, la protection accrue de 16 dB maximum est requise. S'il n'y a aucun décalage, alors les 16 dB tombent à 0 dB car l'effet devient inaudible. C'est pour cette raison que les accords de planification régionaux (tels que la Conférence administrative régionale de radiodiffusion à ondes kilométriques et hectométriques pour les Régions 1 et 3 (Genève 75) mentionnée plus haut) visent à aligner tous les radiodiffuseurs en modulation d'amplitude sur un canal de fréquence commun. Pour les opérations se déroulant hors de ce canal, le critère de 16 dB ne peut être assoupli, et ce n'est le cas nulle part. Cela s'explique en partie parce que la situation n'est pas survenue et en partie parce qu'une fréquence unique représente une source de brouillage agressive. Les études menées par la BBC et mentionnées en [1] montrent que l'on admet largement plus de sources de brouillage d'un signal sinusoïdal non modulé (comme l'harmonique d'un système WPT-EV) s'il est parfaitement aligné avec le canal de fréquence de radiodiffusion.

En pratique, l'effet psychoacoustique de tout brouillage différera selon le type de programme à modulation d'amplitude. En présence d'un programme au volume sonore important, continu et dense sur le plan acoustique comme la musique «pop» compressée, le brouillage sera masqué et un haut niveau de brouillage pourra être admis. Cependant, la plupart des émissions de radiodiffusion en modulation d'amplitude sont fondées sur la parole. Cette dernière se caractérise notamment par des profondeurs de modulation plus basses, de courtes pauses fréquentes à la fin de la phrase de l'orateur et des temps de respirations. L'effet d'un brouillage, notamment d'un signal sinusoïdal unique, est plus marqué durant les pauses et les silences. Les critères de l'UIT visent à protéger les sources audios comme la parole.

Des niveaux élevés de bruit de fond aléatoire ou provenant du système (bruit ambiant et récepteur) ont également pour effet de masquer une source de brouillage sinusoïdale. Une étude menée par la BBC [2] révèle que si le bruit de fond atteint le plafond prescrit par la Recommandation UIT-R BS.703 (26 dB en dessous du signal audio utile avec une profondeur de modulation de 30%), l'effet masquant augmenterait le niveau admissible du brouillage sinusoïdal de 8 dB et les 56 dB

mentionnés plus haut deviendraient 48 dB. La même étude a montré que le bruit de fond, quel que soit son niveau, masquerait le brouillage sinusoïdal qui se situerait 10 dB en dessous du bruit. Cela ne signifie pas que le bruit en lui-même se situe à un niveau admissible par rapport à l'audio fréquence.

A9.3 Généralités

Les éléments suivants ont été extraits du § A5.1.3.4 relatif aux mesures réalisées à Shanghai:

A5.1.3.4 Résultats des mesures et analyse

Il existe au total 9 canaux à modulation d'amplitude à Shanghai. La bande passante du signal de chaque canal est de 9 kHz. Deux canaux à ondes hectométriques ont été choisis soigneusement pour réaliser l'essai relatif au brouillage harmonique, qui sont les canaux dans lesquels peuvent se situer les harmoniques de la fréquence du système WPT-EV d'essai. Les niveaux du signal de radiodiffusion et la qualité du son pour les canaux à ondes hectométriques ont été mesurés sans aucun brouillage provenant du système WPT-EV, comme indiqué dans le Tableau A5-3.

TABLEAU A5-3

Niveaux du champ des canaux à ondes hectométriques à Shanghai

Canal à ondes hectométriques (en kHz)	Niveau du signal	Note attribuée à la qualité du son
855	Fort (94 dB μ V/m)	5
1 197	Fort (86,4 dB μ V/m)	4

Le résultat de la mesure du bruit ambiant du champ H se situe entre -17 et -13 dB μ A/m/15 Hz, à environ 850 kHz dans une zone urbaine de Shanghai. Le champ H du niveau du bruit ambiant à 9 kHz se situe entre 10,8 et 14,8 dB μ A/m. Après conversion du champ H en champ E avec un rapport E/H de 51,5 dB Ω , le champ E du niveau de bruit ambiant à 9 kHz se situe entre 62,3 et 66,3 dB μ V/m.

Concernant le champ de radiodiffusion à modulation d'amplitude en zone urbaine, il a été testé à Shanghai. Selon les essais sur le terrain, le champ de radiodiffusion à modulation d'amplitude doit se situer au-dessus de 80 dB μ V/m pour conserver une note de qualité du son radio supérieure à 3 dans une zone urbaine type. Étant donné que le niveau du signal de 855 kHz est mesuré comme étant égal à environ 94 dB μ V/m, on estime que le rapport signal/brouillage du récepteur radio sur un canal de 855 kHz sur le terrain avec un bruit ambiant est compris entre 27,7 dB et 31,7 dB.

Le signal du système WPT-EV a été mesuré à 10 mètres du chargeur. La forme d'onde est une onde entretenue, avec un champ d'environ 74,4 dB μ A/m. La fréquence centrale a été fixée à respectivement 85,5 kHz; 85,68 kHz ou 85,2 kHz. La bande passante du signal à 6 dB est d'environ 1 Hz, qui est limité en raison de la résolution de l'équipement utilisé pour l'essai. Toutes les harmoniques sont de type «onde entretenue» avec un bruit à bande très étroite.

Analyse

Lorsqu'une fourchette est donnée dans l'étude menée à Shanghai, la valeur centrale de la fourchette est utilisée. Le Tableau 4 du § A.9 dans le Supplément 1 de l'étude de Shanghai est parfois cité. Ces éléments sont également indiqués dans le Tableau A5-4 «Résumé des résultats des essais sur le terrain» à l'Annexe 5. Certaines valeurs pertinentes du tableau sont surlignées. Pour résumer les chiffres mesurés dans l'étude menée à Shanghai:

Niveau de signal reçu (porteuse de radiodiffusion) E	+94,0 dB μ V/m	(a)
Facteur de conversion dB μ V/m à dB μ A/m	-51,5 dB Ω	(b)
Niveau de signal reçu (porteuse de radiodiffusion) H	+42,5 dB μ A/m	(c)
Bruit ambiant (bande passante de 15 Hz)	-15,0 dB μ A/m	(d)
Bruit ambiant (bande passante de 9 kHz)	+13,0 dB μ A/m	(e)
Rapport porteuse de radiodiffusion/bruit (c - e)	+29,5 dB	(f)

Commentaire

Selon la Recommandation UIT-R BS.703, la puissance minimale utilisable du signal de radiodiffusion à ondes hectométriques est égale au signal +60 dB μ V/m si l'on s'appuie sur un niveau de bruit porteuse/système de 36,5 dB. Le signal de radiodiffusion utile mesuré dans les essais menés à Shanghai est donc plus puissant de 34,0 dB et le rapport signal/bruit est inférieur de 6,5 dB. Ces deux facteurs réduisent l'impact audible du brouillage du système WPT-EV. Toutefois, l'attribution d'une note de qualité de 5 en dépit d'un rapport porteuse/bruit aussi faible indique que le programme radiodiffusé au moment des essais était plutôt «dense» et a subi une modulation et un traitement important, comme la musique «pop» compressée. Le type de programme n'a pas été mentionné. Les mesures de la profondeur de modulation sur les émissions à modulation d'amplitude menées par la BBC et indiquées en [Référence 3] ont montré que la profondeur de modulation de la musique «pop» compressée peut être supérieure de 6 dB par rapport à la parole, avec un écart quadratique de 40% contre 20%. Si c'était le cas, soit au moins 6 dB de plus, un (plus haut niveau de) brouillage pourrait être admis, voire un niveau supérieur car la nature continue de la musique, sans pause ni silence, en masquerait les effets.

En regardant le Tableau 4 – Résumé des résultats des essais sur le terrain (voir le § A.9 Appendice 1) – dans le rapport des essais menés à Shanghai et particulièrement la colonne 9 – Champ H préjudiciable (surlignée en jaune au § A.9 Appendice 1), on peut voir que les valeurs réelles relevées pour le champ brouilleur H à l'emplacement du récepteur variaient entre 6,3 dB μ A/m et 14,0 dB μ A/m à 856,8 kHz (la 10^{ème} harmonique de 85,68 kHz affichait un décalage de 1,8 kHz par rapport au canal de radiodiffusion) et entre 3 dB μ A/m et 11,2 dB μ A/m à 1 199,52 kHz (la 14^{ème} harmonique de 85,68 kHz affichait un décalage de 2,52 kHz par rapport au canal de radiodiffusion). Curieusement, à 856,8 kHz, le champ mesuré se réduisait à mesure que le point de mesure au niveau du récepteur se rapprochait de la source de brouillage, soit un résultat opposé à ce qui pourrait être attendu. Aucun des chiffres ne reflète la baisse (théorique) prévue de 60 dB par décade²⁰ du champ magnétique à des distances plus éloignées de la source. L'un de ces facteurs indiquerait une anomalie magnétique ou, éventuellement, de mesure.

²⁰ Dans le champ proche.

En prenant les chiffres tels quels et en regardant la ligne 8 (de données) du Tableau 4 (surlignée en bleu au § A.9 Appendice 1), qui est considérée comme le «pire scénario», le champ mesuré au niveau du récepteur est de 5,3 dB μ A/m à une distance de 4,3 m de la source:

Séparation	4,3 m	Fréquence d'harmonique	8568 kHz	
Signal utile			+42 dB μ A/m	(j)
Niveau du système WPT-EV à 4,3 m de la source			+5,3 dB μ A/m	

Le § A5.1.3 de l'Annexe 5 indique qu'il convient de prendre une distance de séparation minimale entre le chargeur du système WPT-EV et un récepteur affecté par le brouillage de 3 m. Une distance de 4,3 m est la séparation minimale pour réaliser une évaluation. Idéalement, une correction doit être appliquée pour cela; toutefois, l'extrapolation issue des résultats de la colonne 9 du Tableau 4 (§ A.9 Appendice 1) serait difficile et, dans tous les cas, aucun résultat d'essai n'est disponible.

Rapprochement

Comme indiqué précédemment, la Recommandation UIT-R BS.703 (qui est elle-même citée dans l'étude) montre que la sensibilité minimale d'un récepteur à ondes hectométriques moyen est de 60 dB μ V/m, ce qui équivaut à 8,5 dB μ A/m. À 42,5 dB μ A/m (c), le niveau de signal de radiodiffusion utile dans l'étude menée à Shanghai est supérieur de 34,0 dB. Pour pouvoir le comparer avec le chiffre proposé au § A5.1.3, qui est fondé sur un champ utilisable minimal et non sur la puissance élevée du champ entrant de l'étude menée à Shanghai, le chiffre de l'étude devrait être diminué de 34 dB.

$$+5,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} - 34,0 \text{ dB} \qquad -28,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} \qquad \text{(k)}$$

Pour compenser la forte profondeur de modulation induite (voir «Orientation» et «Commentaire» ci-dessus), ce chiffre doit être diminué d'*au moins* 6 dB supplémentaires.

$$-28,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} - 6 \text{ dB} \qquad -34,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} \qquad \text{(l)}$$

L'analyse du § A5.1.3 montre que le niveau maximal admissible ne doit pas dépasser -43 dB μ A/m au niveau du récepteur. Il existe donc toujours un écart de 8,7 dB entre les niveaux indiqués dans l'étude de Shanghai et ceux issus des études de l'UER. Cependant, il y a un certain nombre d'autres facteurs à prendre en compte: ces effets n'ayant pas été mesurés au moment des essais, il est impossible de les quantifier, mais l'estimation ci-après se veut réaliste.

Réponse du récepteur en audio fréquence

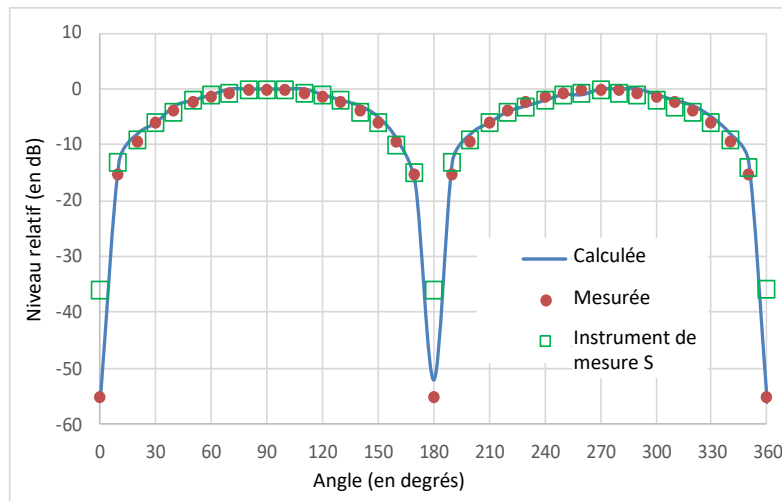
La réponse en fréquence du récepteur Tecsun PL-380 utilisé pour les essais est inconnue et n'a pas été décrite. L'analyse de l'UER part du principe que la réponse en audio fréquence du récepteur est plate sur l'ensemble de la bande jusqu'à environ 4 kHz. Toutefois, le récepteur disponible sur le marché utilisé pour l'étude réalisée par la BBC en mai 2018 [2], un Panasonic GX-500, affichait une réponse en audio fréquence inférieure de 4 dB à 1,8 kHz. À supposer que la qualité du récepteur Tecsun soit équivalente, le chiffre calculé en (l) ci-dessus devrait être réduit d'environ 4 dB.

$$-34,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} - 4,0 \text{ dB} \qquad -38,3 \text{ dB}\mu\text{A/m} \qquad \text{(m)}$$

Orientation du récepteur

Presque tous les récepteurs analogiques à ondes hectométriques, disponibles sur le marché, sont dotés d'une antenne à tige de ferrite, et de ce fait, la réponse aux signaux entrants n'est donc pas omnidirectionnelle. Ces antennes ont une réponse en forme de huit qui permet à un signal brouilleur d'être annulé en orientant soigneusement le récepteur. Malgré cela, l'atténuation du brouillage chute rapidement si l'on modifie l'orientation, comme l'illustre le graphique ci-dessous. Les essais menés par la BBC confirment que les antennes réelles se comportent comme prévu, comme l'indique le graphique.

FIGURE A9-1
Directivité calculée et mesurée du récepteur



NOTE:

- i) Le récepteur a été équipé d'un instrument de mesure permettant une lecture directe en $\text{dB}\mu\text{A}/\text{m}$. L'idée de départ était de faire tourner le récepteur et de lire la valeur indiquée sur l'instrument de mesure à 10 intervalles. Toutefois, les résultats «mesurés» indiqués ont été en réalité obtenus en modifiant le niveau du générateur afin de conserver la même indication sur l'instrument de mesure ($70 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m}$). Cette solution a été jugée plus précise.
- ii) En guise de double vérification, l'idée de départ a également été conservée. Les résultats associés sont indiqués en tant qu'«instrument de mesure S». À noter que la valeur minimale n'est pas définie avec précision car le seuil de bruit de l'instrument de mesure se situe à environ $32 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m}$.

Étant donné la nature des résultats des essais menés à Shanghai, il est peu probable que le récepteur ait été orienté délibérément pour optimiser le brouillage aux dépens du signal utile. En effet, les résultats indiquent le contraire et qu'il est fort possible que l'orientation n'ait pas été prise en compte. Si une valeur médiane d'environ 3 dB est retenue, le chiffre calculé en (m) ci-dessus devrait être diminué de 3 dB supplémentaires.

$$-38,3 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m} - 3 \text{ dB}$$

$$-41,3 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m} \quad (\text{n})$$

Effet masquant des signaux audio

Bien que les études de la BBC mentionnées en [2] tentent de quantifier les effets masquants du bruit de fond aléatoire, aucune évaluation quantitative n'a été menée quant à l'effet masquant du signal audio lui-même. On sait (d'après les essais subjectifs mentionnés en [1]) que l'effet intrusif du brouillage était plus important durant les courtes pauses des programmes fondés sur la parole). Toutefois, il est évident que des programmes continus, plus denses et au volume sonore plus important auront un effet masquant plus marqué sur le brouillage. Le type de programme utilisé durant les essais en Chine n'est pas indiqué mais le fait d'obtenir des notes de qualité aussi élevée en présence de hauts niveaux de bruit de fond montre que ces programmes ne devaient pas être vocaux. Bien que difficile à quantifier, une estimation, reposant sur les résultats des études relatives au bruit aléatoire en [2] indique que l'effet masquant supplémentaire d'un programme continu au volume sonore important pourrait être d'au moins 4 dB, voire plus. En corrigeant le chiffre calculé en (n) de 4 dB, on obtient un résultat inférieur à la valeur fixée par l'UER. La proximité de ces chiffres est sans doute une coïncidence.

$$-41,3 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m} - 4,0 \text{ dB}$$

$$-45,3 \text{ dB}\mu\text{A}/\text{m} \quad (\text{o})$$

Les travaux menés par la BBC en mai 2018 [2] indiquent que si un brouillage sinusoïdal tel qu'une harmonique d'un système WPT-EV est inférieure de plus de 10 dB par rapport au bruit du système prévalant, il sera masqué. Dans cet exemple, le bruit ambiant seul²¹ est de 13 dB μ A/m et l'harmonique du système WPT-EV brouilleur est de 5 dB μ A/m, soit déjà inférieure de 8 dB. En tenant compte de tous les autres facteurs (réponse en fréquence du récepteur, etc.), il est peu surprenant que le brouillage soit inaudible.

Une analyse de résultats similaire liée à une émission de radiodiffusion de 1 197 kHz mène globalement aux mêmes conclusions.

Post-scriptum: affaiblissement par pénétration dans un bâtiment

Le § A5.1.2 évoque l'«affaiblissement par pénétration dans un bâtiment» comme un facteur atténuant qui pourrait aider à réduire l'impact des systèmes WPT-EV sur les récepteurs de radiodiffusion. Il précise: «il y a généralement des murs entre les garages en sous-sol et les bâtiments résidentiels. La perte due au passage à travers un mur introduira une atténuation supplémentaire de 17 dB au niveau de signal du système WPT-EV. Celle-ci a été mesurée et vérifiée lors d'essai sur le terrain».

Ce facteur n'est pas pertinent pour plusieurs raisons et ne peut être considéré comme un facteur d'atténuation car:

- 1) Il est inexact d'affirmer qu'il y aura toujours un mur, de quelque nature que ce soit, entre le chargeur du système WPT-EV et le récepteur de radiodiffusion. Les récepteurs portatifs fonctionnent souvent à l'extérieur et les émissions de radiodiffusion à modulation d'amplitude sont très souvent écoutées en voiture²². De plus, la plupart des automobilistes (et c'est certainement le cas en Europe) n'ont pas accès à un stationnement souterrain.
- 2) Le chiffre de 17 dB est tiré d'une étude menée avec des ondes radios formées à 5,8 GHz. On ne peut partir du principe, sans étude préalable, que le comportement de ces ondes radio à 6 GHz sera en tout point comparable à celui des champs magnétiques à un niveau inférieur à 30 MHz.
- 3) Pour faire suite au point 2), à la distance de séparation envisagée (et sans doute partout), les émissions parasites provenant des systèmes WPT-EV ne seront pas des ondes radio et, ainsi, le concept d'«affaiblissement par pénétration dans un bâtiment» n'est probablement pas pertinent. En revanche, la propension des champs magnétiques à pénétrer les bâtiments est pertinente. Une étude complémentaire menée par la BBC et indiquée en Pièce jointe 3 à l'Annexe 8 (perte à l'entrée d'un bâtiment) montre que la plupart des matériaux des bâtiments (brique, bois, plastique, verre) laissent entièrement passer les champs magnétiques et n'auront donc aucun effet atténuant. Seuls les matériaux magnétiques tels que l'acier et les matériaux conducteurs à courant de Foucault sont susceptibles de perturber le champ magnétique. Parmi ceux-ci, le béton est transparent aux champs magnétiques; toutefois, il est fréquemment utilisé avec une armature métallique (conductrice) et les courants de Foucault de ce dernier pourraient perturber le champ magnétique. À l'échelle mondiale, les bâtiments résidentiels construits en matériaux conducteurs et en acier sont peu fréquents. Ceux composés de béton armé sont plus fréquents mais pas au point d'en faire un facteur.

²¹ Étant donné le haut niveau de bruit ambiant, il est peu probable que le bruit du récepteur y contribue. Si c'est le cas, il s'ajouterait au bruit ambiant.

²² Les chiffres au Royaume-Uni issus de l'organisme RAJAR (*Radio Joint Audience Research*) indiquent que 22,8% des auditeurs écoutent la radio en voiture.

A9.4 Références

- [1] BBC Research and Development White Paper WHP 332 (2017) – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception
<https://www.bbc.co.uk/rd/publications/wireless-power-transfer-plain-carrier-interference-to-am-reception>.
- [2] BBC Research and Development White Paper WHP322 (2017) – Wireless Power Transfer (WPT) – Further Studies on the Performance of MF Sound Broadcasting Receivers in the Presence of Interference from WPT.
- [3] Recommandation [UIT-R BS.2433-0](#), «Évaluation de la profondeur de modulation pour les émissions de radiodiffusion sonore en modulation d'amplitude» (10/2018).

Annexe 10

Étude de l'impact des systèmes WPT-EV fonctionnant sur une gamme de fréquences comprises entre 79 et 90 kHz sur les systèmes de radiocommunication des services d'amateur

A10.1 Introduction

La présente annexe analyse l'impact des systèmes WPT-EV sur les radiocommunications des services d'amateur. Les données de l'analyse sont tirées des informations publiées sur les services d'amateur, les systèmes WPT-EV ainsi que des rapports et études existants à la CEPT, à l'UIT et au CISPR/CENELEC.

A10.2 Généralités

Le service d'amateur est un service de radiocommunication défini dans le Règlement des radiocommunications de l'UIT (numéro **1.56** du RR). Il existe environ 3 millions d'opérateurs radioamateurs licenciés dans le monde. Le Règlement des radiocommunications de l'UIT fixe les fréquences assignées au service d'amateur. Bien que ces assignations varient légèrement entre les régions représentées à l'UIT et entre les pays, le Tableau A10-1 donne un aperçu des assignations actuelles jusqu'à 1 GHz. On compte également de nombreuses assignations au-delà de 1 GHz.

TABLEAU A10-1

**Assignations mondiales au service d'amateur inférieures à 1 GHz dans
le Règlement des radiocommunications de l'UIT et en application
du numéro 4.4 du Règlement des radiocommunications**

(À noter qu'il existe des variations entre les pays et les régions par rapport
aux gammes de fréquences exposées dans ce tableau)

Gamme de fréquences	Statut de l'attribution
135,7-137,8 kHz	Attribution à titre secondaire
472,0-479,0 kHz	Attribution à titre secondaire
1 800-2 000 kHz	En partie à titre primaire, en partie à titre secondaire
3 500-4 000 kHz	Attribution à titre primaire
5 351,5-5 366,5 kHz	Attribution à titre secondaire
7 000-7 300 kHz	Attribution à titre primaire
10 100-10 150 kHz	Attribution à titre secondaire
14 000-14 350 kHz	Attribution à titre primaire
18 068-18 168 kHz	Attribution à titre primaire
21 000-21 450 kHz	Attribution à titre primaire
24 890-24 990 kHz	Attribution à titre primaire
28,0-29,7 MHz	Attribution à titre primaire
50,0-54,0 MHz	En partie à titre primaire, en partie à titre secondaire
70,0-70,5 MHz	Attribution à titre secondaire
144-148 MHz	Attribution à titre primaire
430-450 MHz	Attribution à titre secondaire

Les caractéristiques des stations fonctionnant en service d'amateur sont énoncées dans la Recommandation UIT-R M.1732 [1]. Les questions de protection concernant les services d'amateur sont extraites de la Recommandation UIT-R F.240.

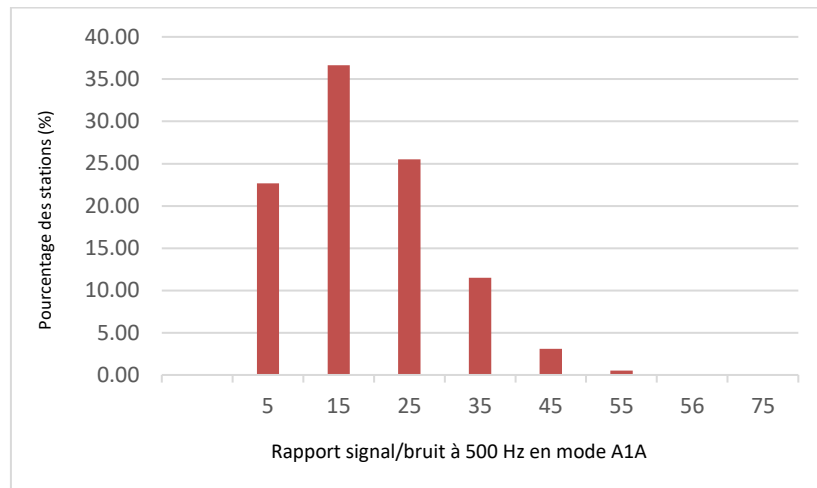
Le service d'amateur est essentiellement un service de faible puissance pour le fonctionnement duquel un niveau de bruit de fond faible est nécessaire.

Dans la mesure où il n'existe aucun niveau de signal minimal associé aux communications en service d'amateur, pour pouvoir évaluer la propension du service à créer des signaux de brouillage préjudiciables, il convient d'examiner le schéma de communication réel sur lequel repose ce service. Le service d'amateur Reverse Beacon Network²³ offre une base de données actualisée en temps réel des signaux amateurs en mode A1A, automatiquement contrôlés dans plusieurs centaines de stations de réception dans le monde et agrégée à l'échelle mondiale. Afin d'indiquer un rapport signal/bruit type de la communication en service d'amateur, on a analysé les données tirées de ces stations de surveillance sur une période prolongée.

La Fig. A10-1 montre la répartition des niveaux de signaux A1A en service d'amateur issue de 528 280 points de données.

²³ <http://www.reversebeacon.net/>

FIGURE A10-1
Répartition du rapport signal/bruit type des communications
en service d'amateur



Si les données ci-dessus étaient présentées dans la même bande passante que les mesures figurant dans la Recommandation UIT-R P.372-13 [2], cela entraînerait une dégradation des rapports signal/bruit ci-dessus de 13 dB.

Ce tableau montre à l'évidence que toute hausse significative du niveau de bruit de fond aura un impact majeur sur les communications en service d'amateur, car la plupart des communications sont relativement proches du niveau de bruit.

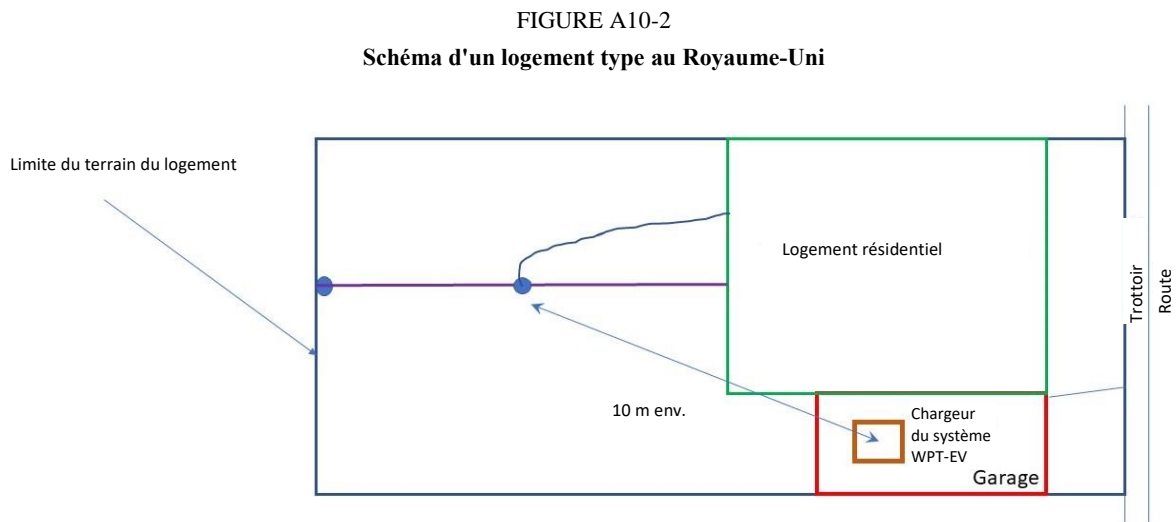
Les rapports signal/bruit ci-dessus sont indiqués par rapport aux niveaux de bruit de fond et, à cette fin, les niveaux de bruit de fond artificiel définis dans la Recommandation UIT-R P.372-13 peuvent servir de point de repère. Bien qu'il y ait eu une hausse des niveaux de bruit en zone urbaine, des rapports récents indiquent que ces niveaux dans les quartiers résidentiels et les zones rurales ont sensiblement augmenté (de l'ordre de 10 à 16 dB). En ce qui concerne les zones rurales calmes certains éléments montrent que les niveaux ont légèrement augmenté, en raison, on suppose, de l'effet cumulé de millions de dispositifs numériques de faible puissance (par exemple: alimentation à découpage, blocs d'alimentation d'éclairage LED, installations électriques photovoltaïques et installations CPL), ce qui crée des émissions à larges bandes qui se propagent par réflexion ionosphérique.

La nécessité de préserver un environnement à faible bruit en service d'amateur s'explique en partie parce que les utilisateurs de ce type de service sont sollicités pour diffuser des communications d'urgence en cas de catastrophe, souvent à des niveaux de signal faibles. Ainsi, la radio d'amateur est-elle vue, dans de nombreux pays, comme un service de réserve de grande valeur en cas de panne ou de surcharge des systèmes de communication classiques. Les États utilisent donc cette possibilité en cas d'urgence. Les bandes de fréquences décamétriques et métriques applicables au service d'amateur sont attribuées dans cette optique. Le terme «amateur» peut induire en erreur, car les stations en service d'amateur contribuent également à la recherche fondamentale sur l'ionosphère et la propagation. Il est évident que toute dégradation importante du niveau de bruit de fond aura un impact négatif sur la capacité du service dans tous ces domaines.

Des précédents ont obligé à reconnaître le besoin de protéger les fréquences du service d'amateur par le biais de normes et de limites relatives aux télécommunications à courants porteurs en ligne [3], aux services DSL [4] et à Gfast [4]. Il convient de noter que le niveau de protection supplémentaire inscrit, par exemple, dans les limites des télécommunications à courants porteurs en ligne du CISPR, est équivalent à celui proposé plus loin dans l'annexe.

A10.3 Emplacement des installations WPT-EV

Les systèmes WPT-EV sont prévus pour un environnement domestique, dans les garages, les places de stationnement et les lieux publics; ce qui signifie que ces installations se trouvent en principe à proximité des habitations. La Fig. A10-2 représente un schéma succinct d'une installation domestique type d'un système WPT-EV situé au même endroit qu'une installation d'un service d'amateur. À noter qu'il est tout à fait plausible (et vérifiable dans de nombreux cas) que l'antenne de l'installation en service d'amateur se trouve à 10 mètres du système WPT-EV.



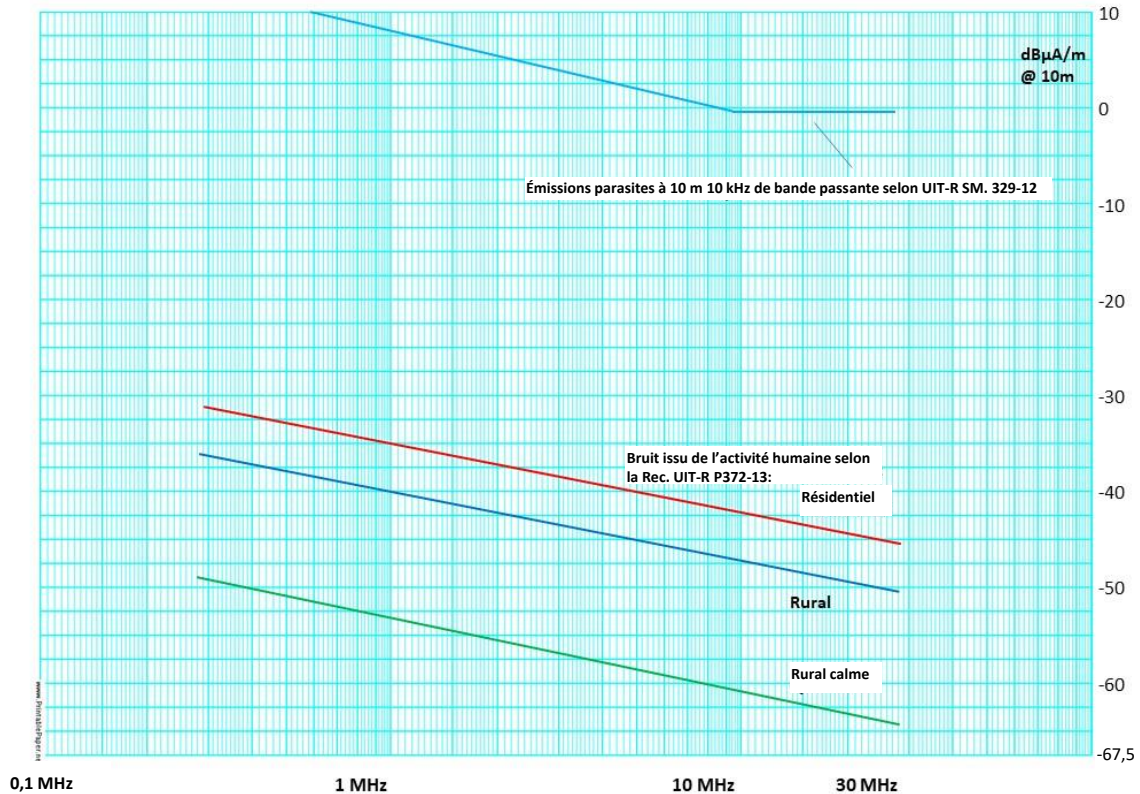
A10.4 Niveaux d'émission dans le domaine des rayonnements non essentiels

Actuellement, il n'existe aucune limite convenue pour les harmoniques et les émissions rayonnées des systèmes WPT-EV. Peu d'informations sont disponibles sur ces émissions rayonnées à des fréquences d'harmoniques des systèmes fonctionnant dans la gamme comprise entre 79 et 90 kHz. Dans certaines publications, on a émis l'hypothèse selon laquelle les limites déterminées pour d'autres usages (par exemple: les dispositifs à induction, à faible puissance) peuvent être adaptées pour les systèmes WPT-EV. En elles-mêmes, ces limites ne prétendent pas offrir une protection adéquate contre les sources de brouillage préjudiciable mais elles semblent être utilisées comme base de planification par certains concepteurs de systèmes WPT-EV. Toujours est-il que l'utilisation de ces limites comme élément de base de la performance de ces systèmes permet d'évaluer la différence qui existe en matière de protection appropriée des stations des services d'amateur et de protection contre les émissions des systèmes WPT-EV.

La Fig. A10-3 ci-dessous illustre les niveaux d'émission préconisés dans la Recommandation UIT-R SM.329-13 (proches des limites fixées par le CISPR11 Classe B) et les niveaux de bruit de fond de la Recommandation UIT-R P.372-12. On peut constater qu'il existe un écart conséquent entre ces deux niveaux. Les émissions parasites aux niveaux limites indiqués dépassent le niveau de bruit de fond de 40-50 dB, ce qui aurait un effet préjudiciable sur les services de radiodiffusion fonctionnant avec de faibles rapports signal/bruit.

FIGURE A10-3

Représentation graphique des limites d'émissions de la Rec. UIT-R SM.329-12 par rapport aux niveaux de bruit de fond de la Recommandation UIT-R P.372-13

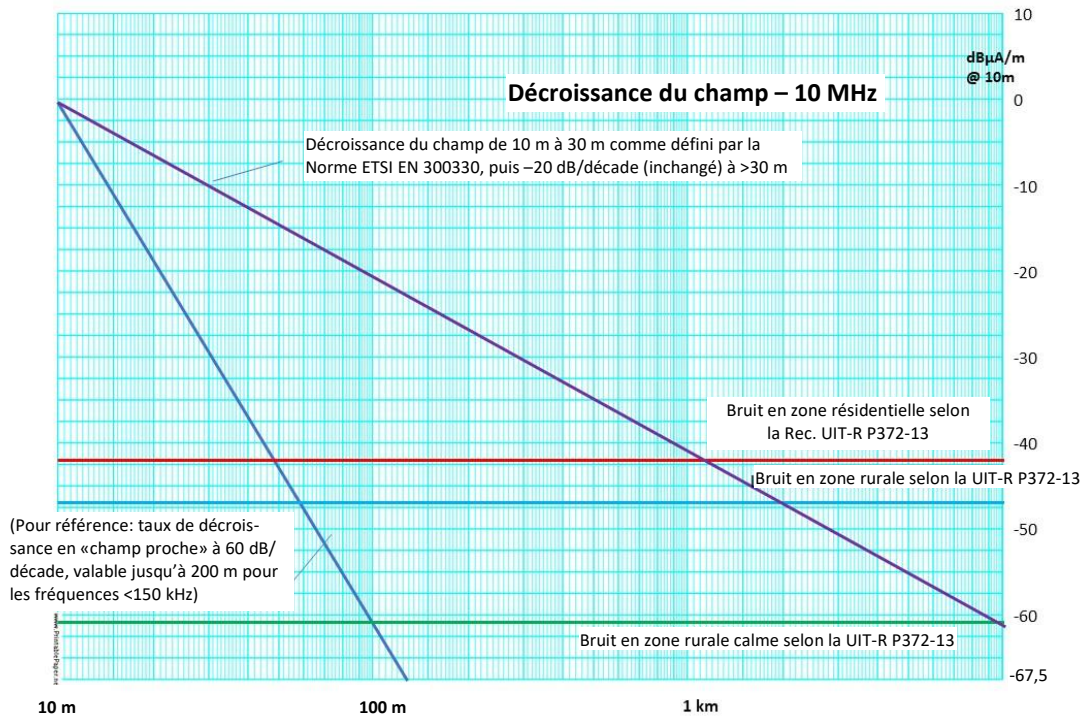
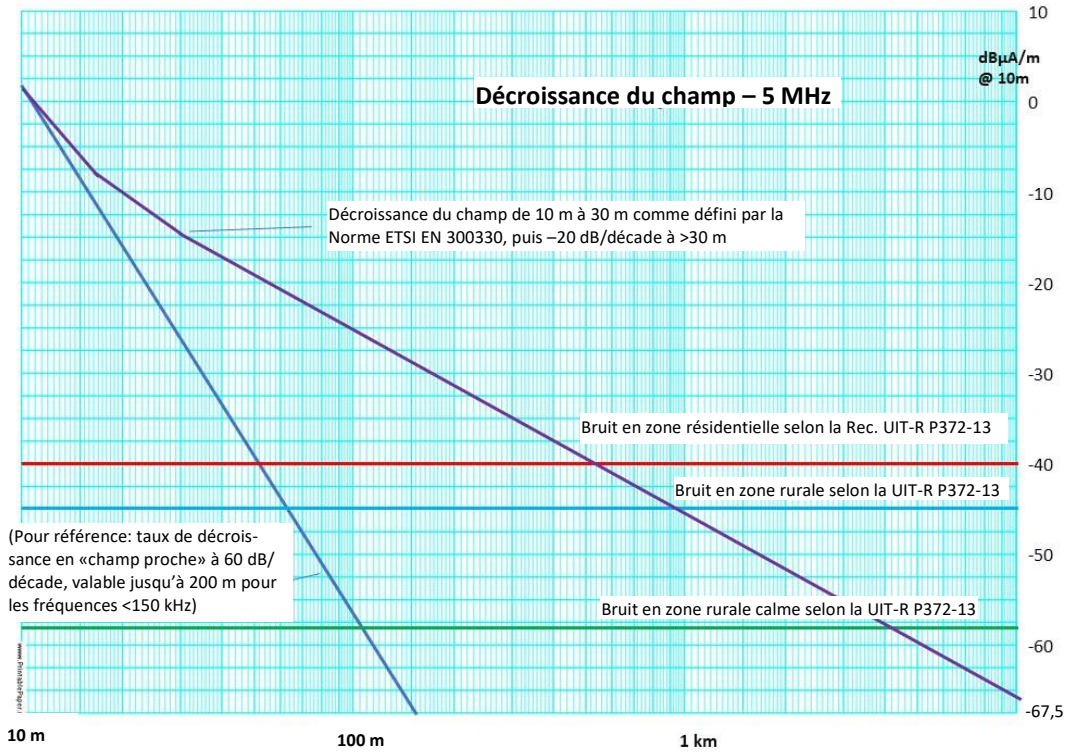


En outre, les caractéristiques des émissions des dispositifs à induction sont définies notamment par la Norme européenne harmonisée ETSI EN 300330 [5]. Bien que les modélisations précédentes aient souvent utilisé 60 dB/décade de distance comme taux de décroissance en «champ proche», le document de l'ETSI confirme que les taux de décroissance des émissions dépendent de la fréquence. L'Appendice I de la Norme ETSI EN 300330 énonce les taux de décroissance pertinents pour adapter la distance de mesure de 10 m à 30 m. L'association de ces chiffres à d'autres données sur les distances de «champ proche» à «champ lointain» permet d'évaluer les émissions provenant des systèmes WPT-EV par rapport à celles (mesurées à 10 m) aux limites du dispositif à courte portée de la Recommandation UIT-R SM.329.

Les graphiques de la Fig. A10-4, qui reprend ces données, montrent les émissions rayonnées d'harmoniques projetées à 5 et 10 MHz provenant des harmoniques du système WPT-EV fonctionnant aux niveaux présumés. On peut voir qu'à 5 MHz, les émissions dépassent le bruit de fond en zone rurale de 10 dB, voire plus, à des distances d'environ 250 m du système WPT-EV et qu'à 10 MHz, cette distance augmente davantage. Ces résultats renforcent l'idée selon laquelle les émissions rayonnées non essentielles mesurées à 10 m doivent être inférieures aux limites entendues pour être prises en compte par les concepteurs de systèmes WPT-EV, afin d'éviter tout brouillage préjudiciable des services de radiodiffusion.

FIGURE A10-4

Décroissance des émissions à 5 MHz et 10 MHz selon la Norme ETSI EN 300330



A10.5 Un niveau adéquat de protection

En l'absence d'une mesure significative fournie à l'UIT d'émissions rayonnées d'harmoniques des systèmes WPT-EV fonctionnant dans la gamme comprise entre 79 et 90 kHz, toute analyse de la dimension réelle de l'écart de qualité sera spéculative; c'est pourquoi l'analyse ci-dessus a utilisé les limites prescrites ailleurs pour les systèmes WPT-EV.

Une définition des critères aurait été plus utile pour indiquer le niveau de protection adéquat en service d'amateur.

La Recommandation UIT-R F.240 préconise de formuler un avis sur le niveau de service requis et le mode de communication employé. Pour arriver à une prescription de protection générique pour le service d'amateur, les niveaux de service les moins exigeants ont été adoptés, associés au niveau de protection le plus exigeant en termes de modes de transmission les plus courants dans le service d'amateur. Pour les services à signaux faibles, les précédents établis permettent de fixer une hausse limite du bruit de fond à 0,5 dB [3], ce qui est globalement conforme aux niveaux de protection les moins exigeants prescrits par la Recommandation UIT-R F.240 en utilisant la méthode ci-dessus.

L'utilisation des niveaux prescrits par la Recommandation UIT-R P.372-12 en milieu rural indique que, en partant du principe que les émissions des systèmes WPT-EV ont des fréquences instables ou n'utilisent pas tous des fréquences courantes ou avec des niveaux de phase ou de bruit en large bande latérale, alors le niveau de protection requis est de:

-45,5 dB μ A/m à 300 kHz diminué de 8 dB par décade de fréquence à -61,5 dB μ A/m à 30 MHz.

En guise de comparaison, si la ligne de bruit en zone résidentielle était sélectionnée comme ligne de base, alors le critère de protection deviendrait:

-41,5 dB μ A/m à 300 kHz diminué de 8 dB par décade de fréquence à -57,5 dB μ A/m à 30 MHz.

À noter que la protection nécessaire serait insuffisante en zone rurale.

Toutes les mesures ont été effectuées à 10 m de distance.

Si le système WPT-EV émet un signal sinusoïdal pur et d'une grande stabilité, utilise une fréquence de fonctionnement communément adoptée, avec un bruit en large bande inférieur aux valeurs susmentionnées, alors les signaux en service d'amateur toléreront un certain niveau de brouillage de l'émission sinusoïdale, car le rayonnement harmonique serait confiné à un nombre de fréquences spécifiques le long du spectre. Dans ce cas, les harmoniques de la sinusoïde pure peuvent raisonnablement dépasser le niveau indiqué ci-dessus de 20 dB.

A10.6 Mesure des systèmes existants

L'étude de certaines des données remises sur la mesure des systèmes WPT-EV existants montre que les mesures du niveau de bruit de fond dans certains rapports sur les émissions des systèmes WPT-EV sont incorrectes sur le plan technique, erreurs qui s'expliqueraient par l'utilisation d'un instrument de mesure dont la sensibilité ne permettait pas de relever correctement le niveau de bruit de fond.

Pour les mesures de bruit de fond situées entre 3 et 30 MHz, en règle générale, la sensibilité minimale du système doit être de -158 dBm/Hz pour réaliser des mesures fiables. Le bruit de l'instrument de mesure (notamment des antennes actives) donne une fausse impression des niveaux réels de bruit de fond. Plus précisément, les études présentées dans la Recommandation actuelle UIT-R PDNR pour la CMR-19 point 9.1.6 à l'ordre du jour présentent une image erronée des niveaux de bruit réel en raison de l'utilisation d'un instrument de mesure inapproprié.

Il convient donc de prendre toutes les précautions nécessaires lorsque l'on souhaite mesurer les niveaux de bruit de fond dans le cadre d'un essai sur le terrain, pour s'assurer que les antennes appropriées et les récepteurs d'essai sont utilisés aux niveaux d'émission attendus. Jusqu'à présent, les essais n'ont souvent pas réussi à refléter l'ensemble de la gamme dynamique du spectre en question.

Étant donné les critères de protection nécessaires pour éviter les signaux de brouillage préjudiciable des systèmes WPT-EV sur les services de radiodiffusion, il est fort probable que de nouvelles méthodes et procédures d'essai soient précisées.

A10.7 Résumé

La préservation de l'utilité du spectre de radiodiffusion doit constituer l'objectif premier de l'introduction de nouvelles technologies. Ce principe est inscrit dans les Articles **15.12** et **15.13** du Règlement des radiocommunications [6] et dans les normes de compatibilité électromagnétique (CEM). Les systèmes WPT-EV pour les véhicules électriques provoqueront des dommages importants et à grande échelle sur le spectre de radiodiffusion si des normes et des limites adéquates beaucoup plus strictes que celles actuellement en vigueur pour les appareils à induction utilisés à d'autres fins ne sont pas établies. La présente étude montre que les limites des émissions rayonnées hors de la fréquence de fonctionnement du système WPT-EV, qui offrent une protection satisfaisante, constituent un élément essentiel de l'introduction de la technologie WPT-EV. Sans cela, la coexistence des services de radiocommunication et des systèmes WPT-EV dans le même environnement n'est pas viable.

Références

- [1] Recommandation UIT-R M.1732 – *Caractéristiques de systèmes exploités dans les services d'amateur et d'amateur par satellite à utiliser pour les études de partage.*
- [2] Recommandation UIT-R P.372-13 – *Bruit radioélectrique.*
- [3] Rapport UIT-R SM.2158 – *Incidence des systèmes de télécommunication à courants porteurs en ligne sur les systèmes de radiocommunication fonctionnant au-dessous de 80 MHz.*
- [4] Recommandation UIT-T G.993.2 Amendement 2 (03/2016) – *Émetteurs-récepteurs de ligne d'abonné numérique à très haut débit 2 (VDSL2), (§ 7.2.1.2 Contrôle de sortie).*
- [5] EN300330 Dispositifs à courte portée (SRD) – *Équipements radioélectriques dans la bande de fréquences de 9 kHz à 25 MHz et systèmes à boucle d'induction de 9 kHz à 30 MHz – Norme harmonisée couvrant les exigences essentielles de l'article 3, paragraphe 2 de la Directive 2014/53/UE.*
- [6] Règlement des radiocommunications:

15.12 § 8 Les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiques nécessaires pour que le fonctionnement des appareils et installations électriques de toute espèce, y compris les réseaux de distribution d'énergie ou de télécommunication, mais à l'exception des appareils destinés aux utilisations industrielles, scientifiques et médicales, ne puisse pas causer de brouillage préjudiciable à un service de radiocommunication, et en particulier aux services de radionavigation et autres services de sécurité, exploité conformément au présent Règlement.

15.13 § 9 Les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiques nécessaires pour que les rayonnements provenant des appareils destinés aux utilisations industrielles, scientifiques et médicales soient réduits au minimum et que, en dehors des bandes utilisables par ces appareils, le niveau des rayonnements ne puisse pas causer de brouillage préjudiciable à un service de radiocommunication, et en particulier aux services de radionavigation et autres services de sécurité, exploité conformément au présent Règlement.

Annexe 11

Analyse de l'impact des systèmes WPT-EV sur les systèmes de correction auditive à boucle d'induction

L'appareil auditif à boucle d'induction magnétique (dit également à bobine T), utilisé depuis 1927, représente le seul système de communication mondial universel pour les malentendants. Il est utilisé dans de nombreux environnements, domestiques et professionnels, et est communément mis en œuvre, voire imposé, dans certains pays pour les lignes téléphoniques fixes et mobiles.

Son utilisation est signalée par le symbole d'une oreille barrée sur fond bleu:



Il utilise un signal audio en bande de base pouvant aller jusqu'à 10 kHz.

Bien que des essais pratiques aient été réalisés avec deux types de systèmes WPT-EV de bus et inférieurs à 15 watts (dispositif à transmission d'énergie à impulsion provoquant un brouillage minimal), les systèmes EV à grande puissance n'ont pas encore été mis à l'essai. Des informations complémentaires sont disponibles dans la Recommandation UIT-R M.1076-1.

A11.1 Paramètres de fonctionnement

Le champ magnétique que peut atteindre un système à boucle d'induction sur une «zone couverte» doit être de 400 mA, en valeur quadratique moyenne, par mètre.

Gamme de fréquences: 50 Hz à 10 kHz.

Sensibilité: entre -98 dBVrms et -95dBVrms.

A11.2 Limites de brouillage

On considère que les champs qui dépasseraient les valeurs minimales indiquées ci-dessous génèreraient des signaux de brouillage pour les récepteurs à boucle d'induction.

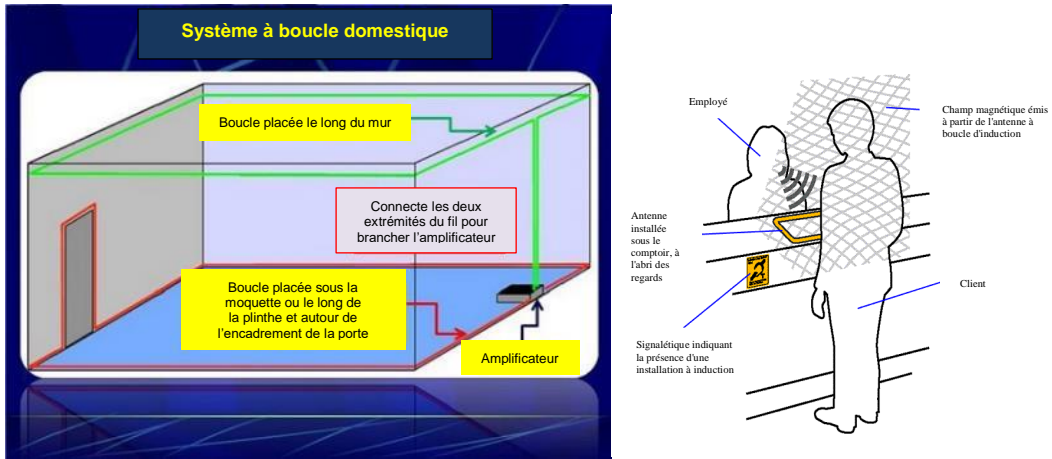
Gamme de fréquences	Champ minimal à 1M provoquant des signaux de brouillage
50 Hz – 12 kHz	0,3 mA/m
> 12 kHz – 100 kHz	300 mA/m

A11.3 Émetteurs à bobine T

Un appareil auditif à boucle magnétique (également appelée «boucle d'induction magnétique») désigne un système audio spécial utilisé par les malentendants. La boucle magnétique émet un signal magnétique sans fil reçu par un système auditif lorsqu'il est placé en position «T» (*Telecoil*).

La boucle magnétique se compose d'un microphone qui capte la parole, d'un amplificateur qui traite le signal qui est ensuite envoyé au dernier élément, du câble de la boucle, placé dans le périmètre d'une zone spécifique, par exemple: un salon ou une salle de réunion, une église, un guichet, etc. qui sert d'antenne et renvoie les signaux magnétiques à l'appareil auditif.

Ci-dessous, un diagramme d'un appareil auditif à boucle d'induction au guichet d'un magasin ou d'une banque et sa configuration à domicile:



A11.4 Récepteur à bobine T

Il en existe différents modèles, même si la plupart des modules sont conçus par la même

Module à raccorder à un appareil auditif

Unité en contour d'oreille pour les téléphones, etc.



Boucle «collier»



Système auditif avec boucle d'induction intégrée

