Rapport UIT-R SM.2449-1 (06/2024)

Série SM: Gestion du spectre

Analyse des incidences sur les services de radiocommunication des systèmes pour dispositifs mobiles et portables de transmission d'énergie sans fil par induction magnétique et par résonance magnétique n'utilisant pas de faisceau



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 <u>http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr</u>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R					
	(Également disponible en ligne: <u>https://www.itu.int/publ/R-REP/fr</u>)				
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				
Μ	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés				
Р	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				
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires				

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, 2024

© UIT 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2449-1

Analyse des incidences sur les services de radiocommunication des systèmes pour dispositifs mobiles et portables de transmission d'énergie sans fil par induction magnétique et par résonance magnétique n'utilisant pas de faisceau

(Question UIT-R 210-4/1)

(20)	19-	$\cdot 20$	(24)
$\langle - \vee$,

Page

TABLE DES MATIÈRES

1	Intro	roduction					
2	Applications destinées à charger des dispositifs mobiles et portables par induction magnétique et par résonance magnétique						
3	Norm induc fréque	nes internationales relatives aux applications de transmission d'énergie sans fil par etion n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande de ences 100-148,5 kHz	5				
4	Carac ou rés	ctéristiques techniques et opérationnelles de la TESF fonctionnant par induction sonance et n'utilisant pas de faisceau pour dispositifs mobiles et portables	5				
	4.1	Caractéristiques opérationnelles	5				
5	Envir	connement de bruit radioélectrique sous 30 MHz	8				
6	Étude concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur les services de radiodiffusion pour les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes 100-148,5 kHz et 315-405 kHz						
	6.1	Étude 1 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour les dispositifs fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz	10				
	6.2	Étude 2 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour les dispositifs fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz	19				
	6.3	Étude 3 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz	33				
7	Étude faisce	e concernant les incidences des applications TESF par induction n'utilisant pas de eau sur le service d'amateur	41				
	7.1	Paramètres employés dans la simulation	41				
	7.2	Analyse et résultats de la simulation	41				
	7.3	Résumé des résultats	45				
8	Étude	e concernant les incidences des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de					

8	Étude concernant les incidences des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de	
	faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation dans	
	la bande de fréquences 90-110 kHz	46

	8.1	Paramètres employés dans la simulation
	8.2	Scénarios et résultats de la simulation
	8.3	Résumé des résultats
9	Étude faisce aéron fréque	concernant les incidences des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de au pour les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation autique, en ce qui concerne les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes de ences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz
	9.1	Paramètres employés dans la simulation
	9.2	Scénario à un seul dispositif
	9.3	Scénario à plusieurs dispositifs
	9.4	Résumé des résultats
10	Analy radio	vses génériques concernant les incidences de dispositifs TESF sur les services de communication (par exemple, le service fixe ou le service mobile)
	10.1	Étude de Monte Carlo pour un seul dispositif exploité dans le même canal concernant les incidences de dispositifs TESF (315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz) sur les services de radiocommunication
	10.2	Étude de Monte Carlo pour plusieurs dispositifs concernant les incidences de dispositifs TESF (315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz) sur les services de radiocommunication.
11	Étude pour l systèr inférie	concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation maritime/le ne mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS) dans les fréquences eures à 325 kHz
	11.1	Introduction
	11.2	Paramètres employés dans la simulation
	11.3	Scénarios et résultats
	11.4	Utilisation du DGNSS pour l'entrée et la sortie des ports
	11.5	Résumé des résultats
12	Servi	ce mobile maritime et GMDSS
13	Servi	ce SFTS dans la bande de fréquences 3 995-4 005 kHz dans la Région 3
14	Étude pour l sur le	concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau es dispositifs mobiles et portables dans la bande de fréquences 1 700-1 800 kHz s systèmes de service de radiolocalisation
15	Comp fréque	paraison de l'incidence du chargement par TESF entre les bandes de ences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz
16	Concl	usion

16.1	Radiodiffusion MA dans la bande de fréquences 525-1 700 kHz					
16.2	Service radioamateur dans la bande de fréquences 135,7-137,8 kHz	91				
16.3	Radionavigation aéronautique et dispositifs TESF dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz	91				
16.4	Analyses génériques concernant les incidences de dispositifs TESF sur les services de radiocommunication (par exemple, le service fixe ou le service mobile) dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz.	91				
16.5	Incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz sur la radionavigation maritime/le système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)	92				
16.6	Service mobile maritime et GMDSS	93				
16.7	Comparaison de l'incidence du chargement par TESF entre les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz	93				
Annexe 1 –	Références	94				
Autres référ	ences	95				
Annexe 2 –	Abréviations	96				
Annexe 3 –	Modèle de propagation pour le rayonnement des dispositifs TESF	97				

3

1 Introduction¹

En raison d'une demande croissante de dispositifs sans fil et de mobilité à l'échelle mondiale, les technologies de transmission d'énergie sans fil (TESF) permettant d'alimenter ces dispositifs ont évolué et les consommateurs du monde entier peuvent désormais se les procurer facilement. La TESF par induction magnétique est une technique bien connue, qui est utilisée depuis longtemps dans les transformateurs, dans lesquelles une bobine primaire et une bobine secondaire sont couplées par induction, par exemple grâce à l'utilisation d'un noyau magnétique perméable commun. On appelle également cette technique TESF à couplage étroit. La TESF par résonance magnétique, également appelée TESF à faible couplage, utilise une bobine et un condensateur comme résonateur, l'énergie électrique étant transmise par résonance électromagnétique entre la bobine de l'émetteur et celle du récepteur. Par rapport à la TESF par induction, la TESF par résonance utilise des techniques de résonance, pour lesquelles la latitude spatiale est plus grande que pour les techniques d'induction.

Des études génériques s'appliquant également aux chargeurs TESF portables et mobiles figurent dans le Rapport UIT-R SM.2303, en particulier au § 7.2 et à l'Annexe 3.

Le présent Rapport vise à étudier les dispositifs TESF portables et mobiles faisant appel aux techniques d'induction et de résonance magnétiques et n'utilisant pas de faisceau qui fonctionnent dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz, 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz, 2 000-2 170 kHz et 13 553-13 567 kHz afin d'en limiter les incidences sur les services de radiocommunication existants. La TESF n'utilisant pas de faisceau pour des dispositifs mobiles et portables tels que ceux destinés à la recharge des véhicules électriques ou des appareils domestiques ne font pas partie du domaine d'application du présent Rapport.

2 Applications destinées à charger des dispositifs mobiles et portables par induction magnétique et par résonance magnétique

Aux termes du Rapport UIT-R SM.2303-1, les techniques TESF fonctionnant par induction et résonance visent certains dispositifs mobiles ou portables tels que des téléphones intelligents, des tablettes et des ordinateurs portables. Depuis la publication de ce Rapport, ces techniques ont été étendues à certains dispositifs à porter sur soi comme des montres intelligentes, des lunettes intelligentes/3D et des appareils de suivi de la forme physique. Les applications TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sont actuellement autorisées et en vente libre dans plusieurs pays exploitant les bandes de fréquences 100-148,5 kHz, 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 13 553-13 567 kHz. Il est également prévu que la bande 2 000-2 170 kHz soit utilisée à l'avenir.

Pour charger par induction ou résonance et sans faisceau un dispositif quelconque, il faut généralement établir un contact direct entre ce dispositif et la source d'énergie. Une fois que le contact direct a été établi et que le chargement a commencé, la puissance émise est en principe inférieure à 30 watts. Si le contact est interrompu, le dispositif cesse de se charger; en revanche, il peut émettre un peu d'énergie dans le seul but de détecter d'autres dispositifs. On trouvera dans la quatrième partie du présent Rapport une description plus détaillée des caractéristiques techniques et opérationnelles de la TESF fonctionnant par induction ou résonance et n'utilisant pas de faisceau.

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

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

Les normes internationales relatives à la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sont indiquées dans la quatrième partie du Rapport UIT-R SM.2303-1.

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

4 Caractéristiques techniques et opérationnelles de la TESF fonctionnant par induction ou résonance et n'utilisant pas de faisceau pour dispositifs mobiles et portables

4.1 Caractéristiques opérationnelles

La TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables qui sert à recharger de tels dispositifs est surtout employée à l'intérieur des bâtiments, notamment dans des bureaux et des domiciles privés.

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

Les applications examinées dans le présent Rapport sont disponibles sur le marché et sont homologuées par la *Federal Communications Commission* (FCC) au titre des dispositifs sans obligation de licence², puisqu'elles sont considérées comme des éléments rayonnants intentionnels aux fins de la vente et de l'emploi aux États-Unis d'Amérique.

4.1.1 Scénarios de mise en charge

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





² 47 C.F.R. § 15 et 18 (2017).



FIGURE 2

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

4.1.2 Caractéristiques techniques

Pour les caractéristiques techniques des dispositifs portables et mobiles, voir le § 3.1 du Rapport UIT-R SM.2303.

Les densités attendues en dispositifs TESF sont indiquées au Tableau 1; les valeurs sont tirées du Document TR 103 493 de l'ETSI.

TABLEAU 1

Bande de fréquences (kHz)	Densité urbaine (/km2)	Observations
100-148,5	5 000	Dispositifs portables et mobiles
315-405	1 500	Dispositifs portables et mobiles
1 600-1 800	500	Dispositifs à porter sur soi
1 950-2 150	500	Dispositifs à porter sur soi

Densités urbaines attendues en dispositifs TESF

Il est question des dispositifs mobiles et portables au § 7.1.2.2 du Document TR 103 493 de l'ETSI. La densité prévue indiquée est de 5 000 dispositifs/km² pour les dispositifs mobiles génériques et de 500 dispositifs/km² pour les dispositifs portables. Ces valeurs ont été transposées dans le Tableau 1 ci-dessus en supposant que 30% des dispositifs portables et mobiles seront peut-être en mesure d'utiliser la bande de fréquences supérieure, pour laquelle on s'attend à des chiffres plus bas étant donné sa plus grande complexité technique. Pour les dispositifs à porter sur soi, on a utilisé le nombre indiqué dans le Document ETSI TR 103 493.

4.1.2.1 Dispositifs TESF portables et mobiles fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz

Les études du présent Rapport concernent les chargeurs TESF utilisant la spécification Qi pour dispositifs portables et mobiles fonctionnant dans cette bande de fréquences.

4.1.2.2 Dispositifs TESF portables et mobiles exploités au-delà de 315 kHz

Le Tableau 2 indique les caractéristiques prévues des dispositifs TESF exploités au-delà de 315 kHz qui sont utilisés pour les études du présent Rapport.

Caractéristiques techniques et cas d'utilisation des dispositifs TESF au-delà de 315 kHz

Gammes de fréquence autorisées pour l'exploitation (kHz)	Limites de rayonnement utiles à 10 m (dBµA/m)	Notes	Activité
315-405	-15	Communication MDF (jusqu'à ±20 kHz) Déplacement de fréquence pendant la charge pour gérer le transfert d'énergie (efficacité) et/ou pour compenser l'alignement: jusqu'à 15 kHz	1-2 h/jour
1 700-1 800	-15	Communication 1 kHz ou MDF (jusqu'à ±20 kHz) Déplacement de fréquence pendant la charge pour gérer le transfert d'énergie (efficacité) et/ou pour compenser l'alignement: jusqu'à 15 kHz	1-2 h/jour
2 000-2 170	-15	Communication MDF (jusqu'à ±20 kHz) Déplacement de fréquence pendant la charge pour gérer le transfert d'énergie (efficacité) et/ou pour compenser l'alignement: jusqu'à 15 kHz	1-2 h/jour

NOTE – Chaque dispositif TESF est construit de façon à seulement émettre le niveau maximal autorisé dans position d'alignement la plus défavorable des deux bobines, tandis que le niveau rayonné effectif est nettement inférieur pour bon nombre de positions d'alignement. Il en est tenu compte dans les études de Monte Carlo en sélectionnant un niveau de rayonnement au hasard entre l'alignement le plus favorable et le moins favorable. L'ampleur de l'effet est limitée à 15 dB pour les besoins de l'étude. On trouvera de plus amples renseignements sur l'effet du défaut d'alignement à l'Annexe 1.4 du Rapport 333 de l'ECC.

4.1.2.3 Dispositifs TESF portables et mobiles fonctionnant dans la bande de fréquences 13 553-13 567 kHz

Avec l'essor important des dispositifs intelligents à porter sur soi, une demande de chargement sans fil est apparue ces dernières années pour des produits à faible puissance exploitant des bandes de fréquences élevées. Une bande de fréquences admise pour le chargement sans fil des dispositifs portables et mobiles est celle des 13,56 MHz. Les caractéristiques techniques détaillées correspondantes sont indiquées au Tableau 3.

TABLEAU 3

Caractéristiques techniques des dispositifs TESF fonctionnant à 13,56 MHz

Gammes de fréquence pour l'exploitation	Principaux paramètres	Données	Limites de rayonnement du champ magnétique (10 m, détection de quasi-crête)	
	Puissance de chargement	<1 W		
	Distance de charge entre la bobine réceptrice et la bobine émettrice	<1 cm	<42 dBµA/m	
13 553-13 567 kHz	Principe de fonctionnement	Technique de résonance magnétique	(largeur de bande de mesure: 9 kHz)	
	Cas d'utilisation	Lunettes intelligentes Stylets Dispositifs intelligents de suivi de la forme physique		

5 Environnement de bruit radioélectrique sous 30 MHz

Pour certaines des gammes de fréquences étudiées, on ne disposait pour les services de radiocommunication d'aucun paramètre et/ou d'aucun scénario de déploiement. Pour obtenir des renseignements sur l'incidence potentielle de la TESF sur les services de radiocommunication, on a comparé le niveau de rayonnement de la TESF au niveau de bruit.

L'environnement de bruit radioélectrique sous 30 MHz dans les villes et les zones résidentielles est principalement dominé par le bruit artificiel (MMN). Trois types de bruit sont présents dans cette gamme de fréquences (voir la Recommandation UIT-R SM.1753): le bruit impulsif (IN), le bruit dû à une seule porteuse (SCN) et le bruit blanc gaussien (WGN).

Le bruit impulsif (IN) peut être très important, mais son incidence sur les récepteurs de services de radiocommunication dépend en grande partie de la conception même du récepteur et il ne sert généralement pas de base pour l'analyse.

Le bruit dû à une seule porteuse (SCN) est souvent présent, voire dominant lorsqu'il provient d'une source proche de l'emplacement de la mesure. La Recommandation UIT-R SM.1753 précise que plusieurs sources peuvent être à l'origine de ce bruit, notamment les réseaux informatiques câblés, les ordinateurs et les alimentations électriques à découpage. Ces sources de bruit se rencontrent principalement à l'intérieur des bâtiments. La Recommandation UIT-R SM.2093, au point *b*) du *considérant*, indique que le bruit SCN causé par des sources uniques et identifiables constitue la source dominante de bruit artificiel à l'intérieur des bâtiments ne pouvant être décrite selon les critères de la Recommandation UIT-R P.372.

Le bruit blanc gaussien (WGN), tel que spécifié dans la Recommandation UIT-R P.372, décrit la partie du bruit artificiel qui ne peut être attribuée à une source de bruit unique et exclut donc expressément le rayonnement provenant de sources uniques et identifiables (voir la Recommandation UIT-R SM.2093), bien que le cumul d'un certain nombre de sources individuelles soit assimilé à du bruit blanc gaussien et soit aussi inclus dans les valeurs du bruit blanc gaussien données dans la Recommandation UIT-R P.372. Il en résulte une contrainte dans l'utilisation de la Recommandation UIT-R P.372 car son applicabilité est limitée aux distances en intérieur lorsque le

cumul des sources individuelles peut être assimilé à un bruit gaussien. Par conséquent, les valeurs de bruit artificiel de la Recommandation UIT-R P.372 ne doivent pas être utilisées dans une analyse de compatibilité, soit lorsque l'antenne de réception du service victime est située en intérieur (récepteurs portables à antennes intégrées, par exemple), soit lorsque l'antenne de réception du service victime est proche de sources de bruit à l'intérieur d'un bâtiment adjacent. Néanmoins, des mesures du bruit ont montré que certaines antennes du service d'amateur peuvent être situées à 10 m du mur extérieur d'un bâtiment où se trouve le dispositif TESF [1].

Les conclusions dégagées concernant l'incidence de la TESF sur les brouillages lorsque l'antenne du service de radiocommunication est proche d'un bâtiment doivent être interprétées avec prudence car elles peuvent être invalides. Les valeurs de bruit artificiel de la Recommandation UIT-R P.372 ne doivent pas être appliquées à l'analyse des récepteurs de services de radiocommunication situés en intérieur.

La situation qui est celle des antennes de services de radiocommunication situées à proximité d'un bâtiment voisin manque de clarté. La valeur médiane du bruit est généralement plus élevée en intérieur qu'en extérieur mais la variance est généralement beaucoup plus importante [2]. Le mur extérieur n'a qu'une incidence limitée car l'atténuation due aux matériaux de construction dans le champ proche est limitée, de sorte que le champ extérieur est largement fonction de la distribution du champ intérieur.

Pour ce qui est de la situation où victime et brouilleur sont situés tous deux en intérieur, la Recommandation UIT-R P.372 donne des renseignement limités sur le bruit WGN artificiel en intérieur, qui ne vont pas toutefois jusqu'aux fréquences inférieures à 200 MHz, et les renseignements complémentaires sur le niveau de bruit à l'intérieur des bâtiments (résidences ou immeubles de bureaux) sont également très limités. Une campagne de mesures réalisée en Espagne [2] a montré que les niveaux de bruit médian à l'intérieur des bâtiments sont nettement plus élevés que les prévisions découlant de la Recommandation UIT-R P.372 (Ville), par exemple un niveau de 30-35 dB à 1,9 MHz, même si l'écart autour de la médiane est également considérable. La Recommandation UIT-R P.372 sont très peu significatifs en intérieur, et indique que d'autres travaux sont en cours afin de réviser la Recommandation UIT-R P.372 pour qu'il soit mieux tenu compte du bruit artificiel en intérieur. Toutefois, les connaissances sont encore très lacunaires à ce jour, étant qu'aucun résultat n'a été communiqué concernant des mesures qui auraient été effectuées à la suite de la Recommandation UIT-R SM.2093.

Les connexions DSL et les communications par courants porteurs en ligne sont deux facteurs de bruit qui n'existaient pas lorsque les lignes droites de régression actuelles ont été fixées conformément à la Recommandation UIT-R P.372. Le rayonnement provenant des lignes DSL utilisant le MRFO apparaissent aux récepteurs de services de radiocommunication comme un bruit blanc gaussien supplémentaire. Dans les communications par courants porteurs en ligne, où le MRFO est également utilisé, le rayonnement est seulement actif quand des paquets de données sont transmis, le brouillage s'apparentant alors bien davantage à un bruit impulsif. En outre, les communications par courants porteurs en ligne sont normalement coupées dans certaines parties du spectre (les bandes du service d'amateur ou du service de radiodiffusion, par exemple), de sorte qu'elles ne peuvent accroître sensiblement les niveaux présents dans ces bandes. Il en va de même pour le VDSL et le Gfast.

Des mesures effectuées récemment aux Pays-Bas [1], [3] ont établi que pour certains lieux, le niveau de bruit effectif est supérieur d'environ 10 dB à celui indiqué dans la Recommandation UIT-R P.372. En outre, on y a expressément tenu compte de distances réalistes entre les bâtiments, où se trouvaient la plupart des sources de bruit, et le point de mesure. Ces résultats confirment des travaux antérieurs réalisés par Iwama [4].

6 Étude concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur les services de radiodiffusion pour les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes 100-148,5 kHz et 315-405 kHz

Le brouillage de la radiodiffusion MA peut se produire dans des scénarios d'étroite proximité, notamment en intérieur, et la vérification des brouillages de la radiodiffusion MA devrait concerner toutes les situations et pas seulement celles où le brouillage a la plus faible incidence.

La Figure 1 de la Recommandation UIT-R BS.560 indique que le rapport de protection relatif le plus élevé est d'environ 16 dB, ce qui correspond à des décalages de fréquence d'environ 1,6 kHz. Lorsque le décalage de fréquence entre les harmoniques et le signal de radiodiffusion MA est de 1,6 kHz, la distance de protection peut augmenter.

Si la fréquence fondamentale de la TESF n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant dans la bande 315-405 kHz peut être choisie et fixée à un multiple de 9 kHz ou de 10 kHz, et que toutes les harmoniques se trouvent sur la grille de fréquences de radiodiffusion, cela peut constituer une stratégie d'atténuation.

6.1 Étude 1 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour les dispositifs fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz

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

- Région 1: 148,5-283,5 kHz et 526,5-1 606,5 kHz³
- Région 2: 525-1 625 kHz (sous réserve du numéro 5.89 du RR)⁴
- Région 3: 526,5-1 606,5 kHz³

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

6.1.1 Montage de l'essai

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

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

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

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



FIGURE 3 Montage de l'essai en laboratoire avec un seul dispositif

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

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



FIGURE 4 Distribution des 7èmes fréquences harmoniques autour des chargeurs sans fil

Les résultats des essais de brouillage de chaque chargeur sans fil sur les deux récepteurs de radiodiffusion (MA1 et MA2) sont résumés dans les figures et tableaux ci-après. Les figures sont construites autour de trois niveaux d'incidence (voir le Tableau 4) pour permettre l'évaluation du bruit audible que chaque chargeur sans fil provoquait dans les récepteurs MA. Les courbes indiquent les niveaux le plus faible et le plus élevé de bruit audible, le niveau 1 étant intolérable et le niveau 3 inaudible. Le niveau d'incidence diminue à mesure que la distance entre le chargeur et le récepteur MA augmente.



Résumé de l'essai subjectif sur le bruit audible dans le récepteur MA2 2,2 1,65 Niveau d'incidence 3 Distance (m) 1,1 Niveau d'inciden 0,55 Niveau d'incidence 1 0 L TESF1 TESF2 TESF3 TESF4 TESF5 TESF6 TESF7 TESF8 Dispositif TESF Rapport SM.2449-06

FIGURE 6

Définition des niveaux d'incidence

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

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

TABLEAU 5

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

a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)
Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dBμA/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dBµA/m) (canal de 810 kHz) (signal utile)	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) au point limite entre les niveaux 2 et 3 Note 1	Rapport signal utile/ brouillage: C/I (dB) Note 2	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
TESF1	-22,06	-53,36	2,85	11,1	-8,25	0,3	0,84
TESF2	-27,11	-58,41	2,85	3,7	-0,85	0,44	0,92
TESF3	-12,65	-43,95	2,85	11,9	-9,05	0,61	1,17
TESF4	-29,74	-61,04	2,85	1,6	1,25	0,51	1,02
TESF5	-16,02	-47,32	2,85	14,78	-11,93	0,51	0,92
TESF6	-28,8	-60,1	2,85	15,9	18,75	0,82	1,83
TESF7	-7,04	-38,34	2,85	3,7	-0,85	0,46	0,92
TESF8	-29,88	-61,18	2,85	3,7	-0,85	0,36	0,92

NOTE 1 – Il s'agit d'un niveau de rayonnement calculé au point limite entre le niveau 2 et le niveau 3 de dégradation subjective d'après l'atténuation en champ proche δ . La formule est $\delta = 60 \log (d1/d2)$ où d1 est 3 m, d2 est le point limite indiqué entre les niveaux 2 et 3 (colonne h)) et δ est le facteur d'ajustement en dB destiné à compenser la variation de la distance de mesure. Ce facteur d'ajustement est ensuite ajouté au niveau de rayonnement dans la colonne b).

NOTE 2 – lorsque les chiffres sont indiqués en gras, le signal brouilleur est plus important que le signal de radiodiffusion utile.

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

a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)
Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dBµA/m) (canal de 810 kHz) (signal utile)	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) au point limite entre les niveaux 2 et 3 Note 1	Rapport signal utile/ brouillage: <i>C/I</i> (dB) Note 2	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
TESF1	-22,06	-53,36	2,66	-2,2	4,86	0,84	1,4
TESF2	-27,11	-58,41	2,66	-19	21,66	1,1	2,2
TESF3	-12,65	-43,95	2,66	0,66	2	0,95	1,8
TESF4	-29,74	-61,04	2,66	-1,1	3,76	0,6	1
TESF5	-16,02	-47,32	2,66	15,35	-12,69	0,65	0,9
TESF6	-28,8	-60,1	2,66	-15,5	18,16	1	1,8
TESF7	-7,04	-38,34	2,66	11,0	-8,34	1	1,5
TESF8	-29,88	-61,18	2,66	15,1	-12,44	0,67	1,7

NOTE 1 – il s'agit d'un niveau de rayonnement calculé au point limite entre le niveau 2 et le niveau 3 de dégradation subjective d'après l'atténuation en champ proche δ . La formule est $\delta = 60 \log (d1/d2)$ où d1 est 3 m, d2 est le point limite indiqué entre les niveaux 2 et 3 (colonne h)) et δ est le facteur d'ajustement en dB destiné à compenser la variation de la distance de mesure. Ce facteur d'ajustement est ensuite ajouté au niveau de rayonnement dans la colonne b).

NOTE 2 – lorsque les chiffres sont indiqués en gras, le signal brouilleur est plus important que le signal de radiodiffusion utile.

Les Tableaux 7 et 8 montrent les résultats de l'essai à plusieurs dispositifs. Les cinq chargeurs sans fil employés dans cet essai ont été placés à environ 0,6 m les uns des autres autour du récepteur MA. Les résultats pour le récepteur MA1 montrent que lorsque les chargeurs se trouvent à plus de 2,2 m, les brouillages deviennent inaudibles. Pour le récepteur MA2, cette distance est de 2,3 m.

TABLEAU 7

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

a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dBμA/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dBµA/m) (canal de 810 kHz) (signal utile)	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) au point limite entre les niveaux 2 et 3 Note 1	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
TESF1	-12,65	-43,95	2,66	-4,5		
TESF2	-29,74	-61,04	2,66	-21,6		
TESF3	-28,8	-60,1	2,66	-20	1,2	2,2
TESF4	-7,04	-38,34	2,66	+1,8		
TESF5	-29,88	-61,18	2,66	-21,9		

a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
Type de chargeur sans fil	Champ de la 7ème harmonique (dBμA/m) à 3 m	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) à 10 m	Champ du signal radio MA (dBµA/m) (canal de 810 kHz) (signal utile)	Champ de la 7ème harmonique (dBµA/m) au point limite entre les niveaux 2 et 3 Note 1	Limite entre le niveau 1 et le niveau 2 (m)	Limite entre le niveau 2 et le niveau 3 (m)
TESF1	-12,65	-43,95	2,66	2,66 -5,7		
TESF2	-29,74	-61,04	2,66	-22,84		
TESF3	-28,8	-60,1	2,66	-21,9	1,1	2,3
TESF4	-7,04	-38,34	2,66	-0,15		
TESF5	-29,88	-61,18	2,66	-23,0		

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

Les distances limites observées indiquent qu'un élément modérateur était présent, puisque le signal de brouillage mesuré, en recalculant celui-ci au point où les tests d'écoute ont été effectués, dépasse le signal utile dans certains cas. Les résultats de cette étude doivent être traités avec prudence. Une étude plus approfondie est nécessaire pour expliquer les observations.

Explication possible:

Les résultats des Tableaux 7 et 8 indiquent que le récepteur est beaucoup moins sensible au brouillage entrant que ce que l'on pourrait attendre. Cela peut tenir à un certain nombre de raisons, mais la principale est le degré de couplage entre l'incident relevé et l'antenne du récepteur.

Presque tous les récepteurs de radiodiffusion portables utilisent des antennes à tige de ferrite magnétiquement sensibles pour la réception de la radiodiffusion MA en ondes kilométriques et hectométriques. Ces récepteurs sont souvent aussi dotés d'une antenne-fouet télescopique électriquement sensible, mais celle-ci est destinée à la réception de fréquences plus élevées en ondes décamétriques et métriques (MF). L'antenne en ferrite est généralement montée horizontalement à l'intérieur du récepteur, comme indiqué à la Fig. 1. Comme on l'a dit, les antennes en ferrite sont sensibles aux champs magnétiques, la sensibilité maximale étant atteinte lorsque les lignes de flux magnétique sont parallèles à l'axe de la tige en ferrite. Les antennes en ferrite sont directionnelles en raison de leur géométrie, avec une sensibilité nulle très nette lorsqu'elles sont orientées par le bout dans la direction du signal entrant. Les auditeurs ont coutume d'orienter le récepteur de telle sorte que la direction du signal entrant soit à angle droit par rapport à l'axe de la tige de ferrite afin d'améliorer la sensibilité et donc la qualité du signal. La Figure 7 illustre une topologie dans laquelle le potentiel de brouillage d'une bobine de charge TESF est réduit au minimum. On observera que cette topologie est très semblable à celle de la Fig. 3. La bobine de charge est horizontale. Le récepteur est orienté de telle sorte que le chargeur TESF se trouve dans la direction de la sensibilité minimale et que les lignes de flux magnétique sont orthogonales à l'antenne en ferrite. Dans cette configuration, l'effet du brouilleur est considérablement atténué.



Rapport SM.2449-07

En tournant le récepteur de 90 degrés horizontalement et la bobine de charge de 90 degrés verticalement, comme illustré à la Fig. 8, le couplage magnétique et donc le niveau de brouillage seront considérablement accrus, voire atteindront leur maximum. L'orientation du flux magnétique à l'intérieur du récepteur sera parallèle à l'axe de l'antenne en ferrite.



Rapport SM.2449-08

La bobine de charge et le récepteur dans un espace pouvant être déplacés et pivotés dans un espace en trois dimensions, le couplage magnétique entre la bobine et le récepteur est susceptible d'atteindre toutes les valeurs possibles entre le maximum et une valeur potentiellement nulle.

6.1.3 Quantification du champ en espace libre pour la TESF pour les dispositifs mobiles et portables et les récepteurs MA

La Figure 9 indique le paramétrage de la largeur de bande employé pour mesurer les harmoniques des applications TESF; elle offre une justification visuelle du choix d'une largeur de bande de 10 Hz. Comme le montre cette Figure, la différence entre une largeur de bande de 10 Hz et de 10 kHz n'est que de 1 dB, mais elle réduit considérablement le bruit de fond. En outre, l'emploi d'une largeur de bande de 10 Hz est plus cohérent avec les caractéristiques du signal TESF. Ce signal étant semblable à une onde sinusoïdale, il dépend peu de la largeur de bande. Au demeurant, le choix de 10 Hz a permis de mieux définir les conditions nécessaires pour effectuer les mesures.

FIGURE 9

Justification de la largeur de bande



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



FIGURE 10 Paramétrage de la largeur de bande des récepteurs MA



FIGURE 11 Mesure du champ des 7èmes fréquences harmoniques à 3 m

FIGURE 12





Rapport SM.2449-12

6.1.4 Résumé des résultats

Les résultats des essais en laboratoire, résumés dans le Tableau 9, montrent qu'il faut une distance de séparation minimale de 2,3 m pour éviter que des chargeurs par induction ne causent des brouillages audibles sur la 7ème harmonique dans des récepteurs de radiodiffusion MA. Comme il s'agit de dispositifs mobiles généralement employés dans des bureaux ou à domicile, cette distance est réaliste. Les incidences de ces chargeurs sur le service de radiodiffusion sont donc jugées négligeables dans la présente étude.

TABLEAU 9

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

Résumé de l'expérience

Ces résultats indiquent qu'un élément modérateur était présent, puisque le signal de brouillage mesuré, en recalculant celui-ci au point où les tests d'écoute ont été effectués, dépasse le signal utile dans certains cas. Les résultats de cette étude doivent être traités avec prudence. Une étude plus approfondie est nécessaire pour expliquer les observations.

6.2 Étude 2 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour les dispositifs fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz

6.2.1 Observations générales

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

Dès le début des essais, il est devenu évident que la reproductibilité allait constituer un problème majeur. Au demeurant, il était très difficile d'expliquer les observations. L'énergie émise en sortie par le chargeur dépendait dans une très large mesure de la position exacte de la charge (ou du téléphone) sur le chargeur, ainsi que de son emplacement précis par rapport au récepteur et de son orientation. Non seulement la fréquence de fonctionnement changeait, mais la nature des brouillages changeait aussi lorsque les paramètres variaient. D'une manière générale, la «sortie» semblait être une onde carrée pulsée et filtrée dont la fréquence variait même lorsque la charge était solidement maintenue en un lieu précis par rapport au chargeur. En outre, même s'il n'y avait pas d'harmonique au sein du «canal» sur lequel le récepteur était réglé⁵, d'importants transitoires de commutation (à la fréquence de répétition des impulsions) pouvaient parfois⁶ être entendus dans l'ensemble de la bande des ondes hectométriques (MF). Non seulement l'incidence générale dépendait dans une certaine mesure de la

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

⁶ Là encore, tout dépendait de la position de la charge et de son orientation.

position exacte du chargeur par rapport au récepteur, mais elle dépendait surtout de la polarisation relative (présumée) du chargeur. L'incidence du brouillage pouvait être plus ou moins éliminée par une alignement minutieux. Si les incidences de l'emplacement et de la polarisation étaient généralement conformes aux prévisions, tel n'était pas systématiquement le cas et les effets devenaient alors difficiles à expliquer. La variabilité et l'instabilité générales de l'ensemble du montage semblaient indiquer qu'il était difficile de procéder à des mesures cohérentes.

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

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

Une évaluation subjective semblait indiquer qu'en combinant la charge de la bobine et un signal utile entrant produit artificiellement⁷ de +18,5 dB μ A/m (équivalent à 70 dB μ V/m – 10 dB au-dessus de la sensibilité minimale du récepteur préconisée dans la Recommandation UIT-R BS.703), l'incidence du signal brouilleur à une distance de 2 m pouvait varier entre un bruit plus ou moins inaudible et un bruit extrêmement gênant lorsqu'on modifiait l'orientation et/ou la position précise du chargeur. Cette observation s'écarte nettement des résultats présentés dans les Tableaux 5 et 6 du présent Rapport, selon lesquels l'incidence de tous les chargeurs testés était inaudible au-delà de 2 m (et parfois à une distance inférieure) lorsque le signal entrant (utile) avait baissé de 16 dB.

6.2.2 Montage de l'essai

Les essais ont été effectués dans une cage de Faraday d'une longueur légèrement inférieure à 4 m. Cette situation a placé quelques contraintes sur les essais possibles, la plus importante étant que la distance maximale séparant le récepteur du chargeur était de 2 m. Le montage physique est illustré dans les Figs 13 et 14.



⁷ Les effets ont été effectués dans une cage de Faraday.

FIGURE 14 Montage de l'essai (photographie)



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

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

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

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

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

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

La possibilité de contrôler le niveau du signal au récepteur signifiait aussi que l'effet produit par le rapprochement ou l'éloignement du chargeur par rapport au récepteur pouvait être simulé sans avoir à déplacer le dispositif physiquement. Comme nous l'avons déjà indiqué, les dimensions de la cage de Faraday ont fortement limité la possibilité de séparer les éléments. L'effet de réflexion sur les murs a été étudié et pris en compte, le cas échéant (voir le § 6.2.6.1). Comme la relation entre le champ et la distance est soumise à la loi du cube inverse, tout accroissement de 18 dB du niveau du signal utile (radiodiffusé) aurait pour effet de doubler la distance de séparation entre le récepteur et le chargeur. Le récepteur allait inévitablement fonctionner avec un champ plus élevé de 18 dB; dès lors, pour conserver le bon rapport signal/bruit, il convenait d'injecter un bruit RF supplémentaire de 18 dB dans le récepteur. Cette opération a pu être mise en œuvre facilement en ajoutant du bruit au signal utile dans l'antenne cadre⁸. De la sorte, la distance réelle entre le récepteur et le chargeur a pu être fixée à la valeur souhaitée⁹ et la diminution de l'effet de brouillage due à la distance de séparation a pu être mesurée.

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

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

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

6.2.3 Mesure de la qualité de fonctionnement du récepteur

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

_	Réponse en modulation sonore(fréquence)	$-3 \text{ dB} \text{ à } 2 \text{ kHz}; \qquad -24 \text{ dB} \text{ à } 5 \text{ kH}$	[z
_	Rapport signal/bruit (S/N) du signal sonore	26 dB, modulation de référence	
	pour un champ de 60 dBµV/m	non pondérée de 30%	

Deux récepteurs portables, numérotés 1 et 2, étaient tenus à la main; leur degré de conformité au récepteur de référence avait été mesuré. Le récepteur 1 datait des années 1980; il avait un boîtier en bois et se réglait au moyen d'un bouton-poussoir. Le récepteur 2 était plus moderne, et sans être coûteux, il offrait une qualité de fonctionnement raisonnable. Les résultats sont présentés dans les Figs 15 et 16. Il convient de noter l'effet des réglages de tonalité.



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



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

Les niveaux de bruit audible ont été mesurés par rapport au champ. Ils sont illustrés dans la Fig. 17.



FIGURE 17

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

Le récepteur 2 semble donc être mieux adapté aux essais puisqu'il se conforme plus étroitement à la référence indiquée dans la Recommandation UIT-R BS.703. Il lui manque environ 5 dB dans le rapport *S/N*, mais ce n'est pas un problème majeur car il n'est pas réaliste d'envisager de longues distances lorsqu'on évalue les incidences des brouillages. Nous avons employé des distances de séparation plus courtes et un champ de référence plus élevé, comme indiqué au § 6.2.6.1.

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

6.2.4 Niveaux de rayonnement du chargeur

Les niveaux de rayonnement provenant du chargeur ont été mesurés. Les résultats sont globalement cohérents avec ceux qui figurent aux Tableaux 5 à 8 du présent Rapport.

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



FIGURE 18 Détecteur «maison» (à gauche) et chargeur Qi® (avec une charge)

Rapport SM.2449-18

À une distance d'un mètre, le niveau mesuré sur l'analyseur de spectre était de -34 dBm. Comme le gain du préamplificateur était de 29 dB (mesuré), la bobine avait un niveau en sortie de -63 dBm. Un niveau de 0 dBm étant équivalent à 224 mV, le niveau de -63 dBm équivaut à 0,159 mV¹⁰.

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

Un champ magnétique *H* passant par une bobine de surface *A* et dont le nombre de tours est *N* donne naissance à un champ électromagnétique (EMF) *E* de μ_0 *H A N* ω , où μ_0 est la perméabilité de l'espace libre (définie par $4\pi \times 10^{-7}$) et ω est la fréquence angulaire. En réorganisant cette relation, nous obtenons:

$$H = E/\mu_0 A N \omega \tag{1}$$

En intégrant les valeurs: $H = 0.159 \times 10^{-3} / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0.034^2) \times 10 \times (2\pi \times 115 \times 10^3) \}$

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

Ce champ vaut 73,6 dB μ A/m (ou 125,1 dB μ V/m pour le champ électrique équivalent en espace libre). À 300 m, ce champ se réduirait de 60 log 300 dB, soit 148,6 dB, ce qui donnerait –23,5 dB μ V/m. On trouvera au § 6.1 la valeur –15 dB μ V/m, qui est relativement cohérente compte tenu des différentes incertitudes.

6.2.5 Niveaux de rayonnement harmonique du chargeur

Les travaux décrits jusqu'à présent dans l'Étude 2 ont concerné seulement deux appareils. Il peut y avoir des différences entre les modèles disponibles sur le marché, c'est pourquoi une série d'appareils a été évaluée.

La méthode d'essai était simple. Le dispositif Qi en question a été placé sur le banc et alimenté à +5 volts par une alimentation de banc. Il a été relié à la charge fictive Qi illustrée à la Fig. 18 et réglé pour tirer 2 watts (son maximum nominal). Une bobine de détection à trois tours a été placée à 300 mm directement au-dessus du dispositif Qi, et la sortie a été reliée à un analyseur de spectre.

L'analyseur de spectre a été réglé pour balayer de 0 à 2 MHz, puis le marqueur a été utilisé pour lire les niveaux des 13 premières harmoniques – les impaires seulement car les paires étaient normalement d'un niveau beaucoup plus faible.

Le dispositif Qi a été remplacé par une bobine hélicoïdale alimentée par une tonalité de 1 MHz. La bobine était analogue à celle utilisée dans les dispositifs Qi, et il a été facile d'en calculer le champ magnétique. La sortie de la bobine de détection a été comparée au niveau calculé pour garantir la concordance entre les résultats mesurés et ceux attendus.



Les résultats sont représentés ci-dessous. Ils ont été normalisés à une distance de 1 mètre.



FIGURE 20 Niveaux d'harmoniques des dispositifs testés

En général, le niveau de l'harmonique *n* constaté pour chaque dispositif obéit à la loi attendue (1/n). (Les tracés sont parallèles aux figures «Sim» idéales.) Cela confirme que le circuit accordé est effectivement piloté par une onde carrée. Comme indiqué au § 4, la relation 1/n ne s'applique pas à la composante fondamentale, le circuit accordé intégrant la bobine d'induction assurant le couplage étant alors proche de la résonance.

Comme la simulation ne tient compte d'aucun élément modérateur, comme pourrait l'être un blindage magnétique, il n'est pas surprenant que le rayonnement provenant d'appareils réels soit toujours légèrement inférieur. La performance du Dispositif 5 dépasse celle de la simulation d'environ 25 dB.

6.2.6 Évaluation des niveaux de brouillage

L'incidence du brouillage produit par la combinaison chargeur/charge a été mesurée de manière à la fois objective et subjective à la sortie audible du récepteur en utilisant le montage illustré dans la Fig. 21.



FIGURE 21 Montage permettant d'évaluer le brouillage du chargeur Qi®

Ce schéma est relativement explicite. Les éléments du programme sont stockés sur un PC sous forme de fichiers .wav; ils ont également été utilisés dans les premiers essais de systèmes de transmission sans fil¹¹. (Ils ont été fournis par les studios Radio 5 de la BBC et compressés comme pour une transmission.) Ils sont exécutés par le biais d'un convertisseur numérique-analogique (ADC) d'une qualité suffisamment élevée pour servir de banc d'essai, et ils servent à moduler un générateur de fréquences radioélectriques. Celui-ci pilote une antenne cadre. Par convention, l'antenne est placée à 600 mm de l'élément faisant l'objet de l'essai (la radio); dans ce cas, le champ électrique équivalent en V/m est numériquement égal à 1/10 du champ électromagnétique source du générateur en V¹². Enfin, les signaux sortant de la radio, qui contiennent déjà le brouillage, sont convertis vers un format numérique et stockés sur le PC dans des fichiers .wav.

De plus, nous avons employé le logiciel *Audacity* sur le PC pour ajouter un bruit pseudo-aléatoire aux éléments du programme. Cette méthode a contribué au réglage du rapport *S/N* des signaux audibles sortant du récepteur sur la valeur de référence de 26 dB par rapport à une profondeur de modulation MA de 30%, quel que soit le champ réel¹³. Lorsqu'on effectue des essais de brouillage subjectifs, l'effet de masquage de tout bruit de fond constitue bien entendu un facteur important.

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

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

$$H = E/\mu 0 A N \omega$$

¹¹ Ces essais sont décrits par exemple dans le *White Paper* <u>WHP 322</u> de la BBC.

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

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

et que nous intégrons les valeurs:

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

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

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

ce qui est relativement cohérent avec le champ théorique.

6.2.6.1 Multiplication avec la distance et effet de la cage de Faraday

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

Le Tableau 10 indique les niveaux du générateur de signaux correspondant à des facteurs de multiplication allant de 1 à 4. Par hypothèse, l'antenne employée est une antenne cadre et le récepteur victime est situé à 600 mm d'elle.

TABLEAU 10

Niveaux du générateur pour des facteurs de multiplication particuliers

Niveau du générateur (dBm)	-33	-15	-4,4	+3	Un facteur de 4 signifie qu'un brouilleur
Facteur de multiplication	1	2	3	4	qu'un brouilleur situé à 2,4 m

Les distances réellement disponibles dans la cage de Faraday sont plus courtes que l'on pourrait croire. En effet, la cage est faite de métal et le métal se comporte comme un réflecteur quasi-parfait. Bien que la cage mesure 4 m de long, le brouilleur doit rester à une distance d'environ 1,2 m du récepteur. Cette contrainte est illustrée dans la Fig. 22.



Le champ normalisé du chargeur Qi®, tel que mesuré à la sortie de la radio, et sa réflexion ont respectivement pour valeur $1/(d_2 - d_1)^3$ et $1/(d_2 + d_1)^3$. Pour obtenir le champ qui en résulte, il faut soustraire le signal réfléchi du signal direct¹⁴:

Champ résultant

Rapport du champ résultant aux champs directs

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

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

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

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

6.2.6.2 Échantillons sonores

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

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

TABLEAU 11

Identifiant	Brève description	Commentaires
as_clean	Voix sans dégradation en-dehors du bruit du système à –26 dBu	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
bs_wp0_12_2-4_onc	Comme ci-dessus, plus un brouillage dans le canal provenant du chargeur générique	Le brouillage à une distance réelle de 2,4 m est très gênant
cs_wp0_12_2-4_offc	Comme ci-dessus, plus un brouillage hors canal	Le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
ds_wp0_12_2-4_idle	Comme ci-dessus, mais la charge a été retirée du chargeur	Là encore, le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
em_clean	Musique sans dégradation en-dehors du bruit du système à –26 dBu	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
fm_wp0_12_2-4_onc	Comme ci-dessus, plus un brouillage dans le canal provenant du chargeur générique	Le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales
gm_wp0_12_2-4_offc	Comme ci-dessus, plus un brouillage hors canal	Là encore, le brouillage ne serait probablement pas remarqué dans des circonstances normales

Enregistrements effectués

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

Identifiant	Brève description	Commentaires
hm_wp0_12_2-4_idle	Comme ci-dessus, mais la charge a été retirée du chargeur	Le souffle de fond est audible mais n'est pas gênant
is_wp7_s7_2-4_onc	Un téléphone intelligent produit un brouillage dans le canal lors de la réception de signaux vocaux	Les résultats sont très proches de ceux obtenus avec le chargeur générique
jm_wp7_s7_2-4_onc	Comme ci-dessus, mais les signaux sont de la musique	Comme ci-dessus

TABLEAU 11 (fin)

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

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

6.2.7 Chargeur TESF en mode repos

Jusqu'à présent, on était parti du principe que l'appareil est activement en service. Cela peut sembler raisonnable, mais en pratique, il est possible que l'appareil reste sous tension quand il n'est pas utilisé. En pareil cas, il émet périodiquement un signal «ping». Pour le déterminer, les essais précédents ont été répétés, mais cette fois sans la charge fictive. La seule autre différence était que la bobine de détection a été rapprochée à 175 mm, pour augmenter le niveau du signal présenté à l'analyseur de spectre. Le brouillage a aussi été écouté sur une radio portable.

Sans la charge, tous les appareils ont produit des salves régulières avec une fréquence fondamentale de 175 kHz. Le taux de répétition a varié entre 0,5 et 4 fois par seconde. Ce signal n'a paru causer de brouillages radioélectriques importants qu'en raison des harmoniques; la bande était assez «calme» dans les espaces entre les harmoniques. Un diagramme de spectre typique est présenté à la page suivante en Fig. 23. Il a été réalisé en utilisant la fonction «retenue de crête» de l'analyseur de spectre, de sorte que le contenu de la bande latérale a pu s'accumuler progressivement – les harmoniques sont apparues «propres» sur un instantané. L'excursion en fréquence est de 0-2 MHz et l'échelle verticale de 10 dB/division. On notera que la réponse de la bobine de détection est proportionnelle à la fréquence.

FIGURE 23 Spectre typique (appareil 2)



Une interprétation du spectre est que l'appareil passe la majeure partie du temps à 175 kHz, mais fait par moments des tentatives à 100 kHz (sa fréquence de fonctionnement normale). L'effet audible sur un récepteur AM est un bruit sourd qui se produit au début et à la fin de la salve. Ce phénomène est normal et s'explique par les transitoires de basse fréquence dont s'accompagnent les changements soudains du niveau de la porteuse.

Les intensités de champ de la cinquième harmonique sont représentées ci-dessous, en orange, et comparées à celles de la septième harmonique lorsque la charge d'essai est en place (et réglée à 2 W). On notera que les deux séries d'harmoniques atteignent opportunément la même fréquence approximative.





FIGURE 24

Rapport SM.2449-24

Les commentaires sont les suivants:

- Les niveaux ont été normalisés à une distance de 1 mètre.
- Les résultats «antérieurs» (avec charge) sont les niveaux de la septième harmonique indiqués à la Fig. 24.
- L'appareil N° 9 n'a pas été inclus en raison de ses résultats très instables.
- Le niveau «Calculé 2» est le niveau harmonique prévu par la simulation décrite au § 4, tandis que le niveau «Calculé 1» est plus élevé de 2,9 dB compte tenu du fait que la cinquième harmonique de l'expansion de Fourier correspond à 7/5 fois le niveau de la septième harmonique.

De manière générale, on obtient une bonne concordance entre les niveaux calculés et effectifs d'harmoniques pour la situation «sans charge» – la moyenne des valeurs effectives ne diffère du calcul que de 1,2 dB. Le tableau est moins favorable pour la situation «avec charge», les résultats mesurés étant inférieurs de 11 dB en moyenne à la valeur calculée. On peut penser que cette différence est réelle car il existe une concordance raisonnable entre les résultats actuels et antérieurs «avec charge» pour la septième harmonique.

On a tenté de trouver l'explication de cet écart. Une «vérification de bon sens» avec la bobine hélicoïdale a été tentée à nouveau, en plaçant cette fois la charge d'essai directement au-dessus de la bobine. Lorsque la charge d'essai était en contact avec la bobine, le niveau a chuté de 13 dB. Le fait d'élever la charge de seulement 10 mm a réduit la perte à environ 4 dB. Une expérimentation empirique a permis de constater que la perte dépend fortement de la position et, dans une moindre mesure, de la fréquence. À l'évidence, l'écran de ferrite et la bobine à l'intérieur de la charge fictive ont une incidence non négligeable. L'utilisation d'un chargeur Qi comme écran en lieu et place de la charge d'essai a provoqué une certaine perte, mais pas aussi remarquable que précédemment.

Les travaux ci-dessus donnent à penser que le rayonnement en «mode repos» constitue une nuisance plus importante en l'absence d'élément permettant de le filtrer. La bonne concordance entre les calculs et la pratique valide la conclusion établie au § 5 selon laquelle le chargeur pourrait causer des brouillages à des récepteurs AM à des distances allant jusqu'à 10 mètres.

6.2.8 Niveaux de puissance élevés

Jusqu'à présent, les essais ont été effectués à une puissance de 2 W, limite imposée par les résistances internes de la charge fictive. Or, la charge permet de connecter des résistances externes, et de porter la capacité ce faisant à 5 W. La charge fictive détecte ces résistances et reconfigure le système en conséquence. Les niveaux de la fondamentale et de la 7ème harmonique du chargeur «2» ont été mesurés au-delà de 2 W, avec les résultats indiqués ci-dessous.



Intensité du champ à des niveaux de puissance plus élevés



La puissance a été limitée à 4,5 W car à la pleine puissance de 5 W, le système montrait des signes de difficultés.

Jusqu'à 2 W, à tout le moins, le niveau d'harmoniques reste constant. Au-delà, il diminue quelque peu, peut-être en raison d'un changement de mode lors de l'utilisation de résistances externes. Plus surprenant, le niveau de la fondamentale reste également constant. Cela tient peut-être au fait que l'efficacité du système s'améliore à mesure que la puissance augmente, ce qui se traduit par une diminution du champ parasite.

6.3 Étude 3 – Radiodiffusion à modulation d'amplitude (MA) pour des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz

6.3.1 Mesures comparant l'incidence de fréquences différentes

Cette étude a été réalisée pour déterminer si les harmoniques d'un chargeur sans fil fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz produisent en pratique des brouillages nuisibles pour les récepteurs de radiodiffusion MA fonctionnant dans la bande de fréquences 526,5-1 700 kHz.

6.3.2 Sélection du canal de radiodiffusion MA

Cette étude est réalisée sur des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de faisceau et fonctionnant au voisinage de la fréquence de 360 kHz. Ces chargeurs sont conformes à la spécification Qi2 du Wireless Power Consortium, ou si ce n'est pas le cas, en sont très proches, et tous sont disponibles dans le commerce. La spécification Qi2 définit le fonctionnement de la TESF au voisinage de 360 kHz avec une puissance plus élevée et une efficacité sensiblement meilleure que celle de la spécification Qi1.

En théorie, ses deuxième, troisième et quatrième harmoniques sont situées entre 526,5 et 1 700 kHz. Toutefois, les harmoniques paires sont supprimées efficacement par la conception du circuit de charge.

En conséquence, L'étude est donc centrée sur la troisième harmonique des dispositifs TESF. Elle a été menée respectivement sur des récepteurs de radiodiffusion MA pour les canaux 1 080 kHz et 1 098 kHz en Chine. Le canal 1 080 kHz chevauche la troisième harmonique, tandis que le canal 1 098 kHz est le canal adjacent existant dont on a constaté pendant l'étude qu'il était le plus proche de la troisième harmonique des dispositifs TESF fonctionnant au voisinage de 360 kHz.

L'étude a recueilli des données depuis une chambre d'essai de 3 m, un immeuble de bureaux et un hôtel en zone urbaine. Trois marques différentes de chargeurs sans fil disponibles sur le marché ont fait l'objet d'essais visant à déterminer les brouillages causés à trois récepteurs de radiodiffusion MA du commerce provenant de différents fabricants.

6.3.3 Essai subjectif sur le bruit audible

L'essai subjectif sur le bruit audible a été effectué à l'intérieur d'un bâtiment dans lequel l'intensité du signal de la radiodiffusion MA est très proche du niveau de signal minimal indiqué dans la Recommandation UIT-R BS.703. Une qualité de signal acceptable peut donc être obtenue en ajustant l'emplacement et l'orientation des récepteurs de radiodiffusion MA. L'opérateur a contrôlé le brouillage audible en déplaçant progressivement les chargeurs sans fil vers les récepteurs MA. Compte tenu des différences d'audition entre individus, cinq personnes ont participé à l'évaluation de l'essai subjectif. L'essai subjectif sur le bruit audible est conçu d'après la Recommandation UIT-R BS.1284-2, en mettant toutefois davantage l'accent sur l'expérience des utilisateurs réels.

L'évaluation de l'essai sur le bruit audible peut être définie par trois niveaux¹⁵:

- le niveau 1 est intolérable;
- le niveau 2 correspond à un brouillage audible, mais tolérable;
- le niveau 3 correspond à un brouillage non audible.





FIGURE 26

¹⁵ Les niveaux de la Recommandation UIT-R BS.1284 ont été simplifiés comme suit: Niveau 1 = 1 (très gênant) et 2 (gênant), Niveau 2 = 3 (légèrement gênant) et 4 (perceptible mais non gênant), Niveau 3 = 5(imperceptible).
FIGURE 27

Montage de l'essai subjectif sur le bruit audible



6.3.4 Synthèse des résultats

La Figure 28 indique les résultats pour le récepteur MA 1, le récepteur MA 2 et le récepteur MA 3 fonctionnant sur le canal MA1080 kHz, qui correspond à la troisième harmonique de tous les chargeurs TESF de la partie supérieure. La partie inférieure concerne le canal MA1098 kHz.

FIGURE 28 Résultats de l'essai subjectif sur le bruit audible



Légende:

]		
Dista	ance de séparation			m
	Fréquence	315-405 kHz		3ème harmonique (dBuV/m)
C			TESF N° 1	34,07
H		Récepteur de radiodiffusion MA N° 1	TESF N° 2	33,17
1			TESF N° 3	36,33
0	Intensité du signal		TESF N° 1	34,07
8	radioélectrique MA 60,4 dBuV/m	Récepteur de radiodiffusion MA N° 2	TESF N° 2	33,17
Ŭ			TESF N° 3	36,33
k			TESF N° 1	34,07
н		Récepteur de radiodiffusion MA N° 3	TESF N° 2	33,17
z			TESF N° 3	36,33

Dista	ance de séparation	Intolérable	m Élément pro	ovenant d'une étude existante
	Fréquence	100-148.5 kHz		
z			TESF N° 3	36,33
н		Récepteur de radiodiffusion MA N° 3	TESF N° 2	33,17
k	radioélectrique MA 55,56 dBuV/m		TESF N° 1	34,07
0			TESF N° 3	36,33
9		Récepteur de radiodiffusion MA N° 2	TESF N° 2	33,17
0	Intensité du signal		TESF N° 1	34,07
1			TESF N° 3	36,33
H		Récepteur de radiodiffusion MA N° 1	TESF N° 2	33,17
C			TESF N° 1	34,07

Lorsque le brouillage harmonique chevauche le canal de radiodiffusion MA, une distance de séparation de 1,5 m est efficace pour éviter le brouillage audible du pire scénario.

Cependant, lorsqu'il est adjacent au canal de radiodiffusion MA, une distance de séparation de 0,9 m peut empêcher les récepteurs de radiodiffusion MA de subir des brouillages audibles dans le pire scénario.

Ces distances sont réalistes et l'incidence sur le service de radiodiffusion est donc considérée dans l'étude comme évitable.

En comparant les distances établies avec celles de l'Étude 1 – Radiodiffusion MA (§ 6.1) pour des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz, on observe que les distances pour la TESF fonctionnant dans la bande 315-405 kHz sont beaucoup plus faibles et que leur incidence est nettement plus limitée.

6.3.5 Analyse de sensibilité – Orientation différente de la bobine du chargeur et dispositifs TESF supplémentaires

Outre les scénarios d'utilisation habituels dans lesquels la bobine du chargeur est placée horizontalement, l'étude s'est aussi penchée sur certains scénarios d'utilisation où la bobine du chargeur était placée verticalement à l'aide d'un support escamotable ou d'un support indépendant. Pour cette étude, deux autres chargeurs n'existant qu'en version verticale ont été mesurés. L'incidence est estimée en pratique dans l'étude en ajustant la disposition de la bobine du chargeur par rapport aux récepteurs de radiodiffusion MA, par exemple en la plaçant de dos ou parallèlement.





Orientation des bobines de chargeur disposées verticalement

Rapport SM.2449-29

La Figure 30 indique les résultats pour le récepteur MA 1, le récepteur MA 2 et le récepteur MA 3 fonctionnant sur le canal MA1080 kHz.

FIGURE 30

Résumé des résultats pour les harmoniques TESF sur le canal MA1080 kHz (disposition verticale)



Légende:

		Intolérable	Pour charge	our charger le client, les chargeurs sont disposés verticalement					
		Audible, mais tolérable	au moyen d'un support escamotable ou d'un support indépendant						
Dist	ance de séparation			m	3ème harmonique (dBuV/m)				
				TESF N° 1	35,58				
				TESF N° 2	34,45				
		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 1	TESF N° 3	33,85				
с				TESF N° 4	36,3				
H				TESF N° 5	38,62				
1				TESF N° 1	35,58				
0	Intensité du signal radioélectrique MA 59,5 dBuV/m			TESF N° 2	34,45				
8		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 2	TESF N° 3	33,85				
				TESF N° 4	36,3				
k				TESF N° 5	38,62				
н				TESF N° 1	35,58				
z				TESF N° 2	34,45				
		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 3	TESF N° 3	33,85				
				TESF N° 4	36,3				
				TESF N° 5	38,62				
Dist	ance de séparation			m					

On constate qu'un chargeur TESF en particulier nécessite une distance de protection plus importante que les autres. La troisième harmonique de ce chargeur sans fil est décalée d'environ 500 Hz par rapport au centre du canal de radiodiffusion MA. La Figure 1 de la Recommandation UIT-R BS.560 indique que le rapport de protection le plus élevé est d'environ 16 dB, ce qui correspond à des décalages de fréquence d'environ 1,6 kHz. Lorsque le décalage de fréquence entre les harmoniques et le signal de radiodiffusion MA est de 1,6 kHz au lieu de 500 Hz, la distance de protection augmente d'un facteur de 1,17.

La Figure 31 indique les résultats pour le récepteur MA 1, le récepteur MA 2 et le récepteur MA 3 fonctionnant sur le canal MA1098 kHz.

FIGURE	3	1
LIOOKL	-	-

Résumé des résultats pour les harmoniques TESF sur le canal MA1098 kHz (disposition verticale)

			Intolerable																																		
			Audible, but tolerable				Wireless chargers are vertically placed for charging the client with pop-up stand or external stand]																						
Sepera	tion di	istance		m	3rd Harmonic(dBuV/m)@3m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.3	B 0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	4 1.	5 1	.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.	1 2.5	5 2.	6 2	.7 2	2.8	2.9	3
				WPT#1	35.58		· · · ·																-	-													_
				WPT#2	34.45																																
			AM Radio Receiver#1	WPT#3	33.85																																
C				WPT#4	36.3																																
н				WPT#5	38.62																																
		AM radio		WPT#1	35.58																																
		signal		WPT#2	34.45																																
8		strength	AM Radio Receiver#2	WPT#3	33.85																																
	5	i5.6dBuV/		WPT#4	36.3																																
k		m		WPT#5	38.62																																
н				WPT#1	35.58																																
z				WPT#2	34.45																																
			AM Radio Receiver#3	WPT#3	33.85																																
				WPT#4	36.3																																
				WPT#5	38.62																																
Sepera	tion di	istance		m		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.	B 0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	4 1.	5 1	.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.	1 2.5	5 2.	6 2	7 2	2.8	2.9	3

Légende:

		Intolérable	Pour charge	ger le client, les chargeurs sont disposés verticalement					
		Audible, mais tolérable	a	au moyen d'un support escamotable ou d'un support indépendant					
Dist	ance de séparation			m	3ème harmonique (dBuV/m)				
				TESF N° 1	35,58				
				TESF N° 2	34,45				
		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 1	TESF N° 3	33,85				
с				TESF N° 4	36,3				
н				TESF N° 5	38,62				
1				TESF N° 1	35,58				
0	Intensité du signal radioélectrique MA 55,6 dBuV/m			TESF N° 2	34,45				
9		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 2	TESF N° 3	33,85				
0				TESF N° 4	36,3				
k				TESF N° 5	38,62				
н				TESF N° 1	35,58				
z				TESF N° 2	34,45				
		Récepteur de radiodiffusion	on MA N° 3	TESF N° 3	33,85				
				TESF N° 4	36,3				
				TESF N° 5	38,62				
Dist	ance de séparation			m					

Les résultats de l'étude montrent que l'incidence est comparable à ce qu'elle est avec la disposition horizontale de la bobine du chargeur sans fil.

6.3.6 Analyse de sensibilité – Différentes orientations du récepteur de radiodiffusion MA

Une autre analyse de sensibilité a été effectuée pour analyser la directivité d'un récepteur de radiodiffusion MA.



Analyse de sensibilité des différentes orientations des récepteurs de radiodiffusion MA



Légende:

		Intolérable	Pour charge	arger le client, les chargeurs sont disposés verticalement						
		Audible, mais tolérable	ble, mais tolérable a		u moyen d'un support escamotable ou d'un support indépendant					
Dista	ance de séparation			m						
				Côté	TESF N° 1					
				Face	TESF N° 1					
				Côté	TESF N° 2					
			Face		TESF N° 2					
		Récontour do radiodiffuci	op N4A Nº 1	Côté	TESF N° 3					
				Face	TESF N° 3					
С				Côté	TESF N° 4					
H				Face	TESF N° 4					
0				Côté	TESF N° 5					
8	Intensité du signal			Face	TESF N° 5					
0	59.5 dBuV/m			Côté	TESF N° 1					
Ŀ	,,			Face	TESF N° 1					
к Н				Côté	TESF N° 2					
z				Face	TESF N° 2					
		Pácontour do radiodiffusia	on MA Nº 2	Côté	TESF N° 3					
				Face	TESF N° 3					
				Côté	TESF N° 4					
				Face	TESF N° 4					
				Côté	TESF N° 5					
				Face	TESF N° 5					
Dista	ance de séparation				m					

L'étude a aussi permis de clarifier la sensibilité au brouillage en fonction de l'orientation des récepteurs de radiodiffusion. Les chargeurs sans fil sont orientés par rapport aux récepteurs de radiodiffusion selon différentes directions, et l'on quantifie ensuite la distance de séparation nécessaire pour éviter les brouillages. Dans l'ensemble, il existe une différence de 10 à 40 cm entre les distances de séparation nécessaires pour les différentes directions, comme le montre la Fig. 32, ce qui peut s'expliquer par les caractéristiques de couplage de l'antenne en champ proche ou la marge d'incertitude de l'essai.

6.3.7 Comparaison objective des niveaux d'harmoniques

Comparativement à la bande de fréquences 100-148,5 kHz, la réglementation en place, par exemple la norme EN 300 330 de l'ETSI, prescrit une valeur de –15 dBuA/m à 360 kHz, contre 66 dBuA/m à 119 kHz, et impose des limites beaucoup plus strictes aux émissions rayonnées de la fondamentale entre 315 et 405 kHz. Les harmoniques causées par la bande 315-405 kHz sont plus favorables aux services de radiodiffusion MA que celles causées par la bande 100-148,5 kHz.

Cinq appareils TESF supplémentaires fonctionnant dans la bande 100-148,5 kHz ont été mesurés pour les besoins de cette comparaison.

Leurs niveaux de rayonnement ont ensuite été comparés à ceux des 5 dispositifs TESF fonctionnant dans la bande 315-405 kHz utilisés dans l'étude.

La Figure 33 montre comparativement les niveaux d'harmoniques respectifs des différentes bandes de fréquences utilisées pour la TESF. Elle indique clairement que le niveau harmonique rayonné par les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande 315-405 kHz est bien moindre que celui rayonné par les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande 100-148,5 kHz. En outre, la fréquence de charge des dispositifs exploités dans la bande 315-405 kHz étant plus élevée, les harmoniques qui se retrouvent dans la bande de radiodiffusion MA à ondes hectométriques sont également moins nombreuses (2 contre 6 harmoniques impaires).

En résumé, l'incidence des harmoniques de la bande de fréquences 315-405 kHz sur la radiodiffusion MA dans les fréquences intermédiaires est bien moindre que celle de la bande 100-148,5 kHz.





Rapport SM.2449-33

Comme on peut le constater, le risque de brouillage dû à des dispositifs TESF pour des dispositifs portables et mobiles fonctionnant dans la bande 100-148,5 kHz semble très limité, voire inexistant. Il existe plusieurs millions d'appareils fonctionnant dans cette bande de fréquences et aucun cas de brouillage n'a été enregistré. S'agissant des dispositifs TESF pour dispositifs portables et mobiles fonctionnant dans la bande 315-405 kHz, étant donné que ces dispositifs ont une moindre incidence sur la radiodiffusion, il est encore moins probable que les auditeurs de la radio MA remarquent des brouillages.

7 Étude concernant les incidences des applications TESF par induction n'utilisant pas de faisceau sur le service d'amateur

7.1 Paramètres employés dans la simulation

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

Les paramètres concernant les récepteurs du service d'amateur ont été repris de la Recommandation UIT-R M.1732 et sont illustrés dans le Tableau 12. Cette Recommandation n'établit pas de critère de protection contre les brouillages pour les activités d'amateur dans la bande de fréquences concernée. Aux fins de la présente étude, nous avons pris pour hypothèse un critère de protection I/N de -6 dB.

TABLEAU 12

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

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

7.2 Analyse et résultats de la simulation

7.2.1 Scénarios à un seul dispositif

Dans les scénarios d'étude d'un seul dispositif de transmission d'énergie sans fil (TESF), ce dispositif était placé à l'intérieur d'un bâtiment, le récepteur d'amateur étant situé à l'extérieur. Dans la première simulation, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments était de 10 dB; dans la seconde, il était de 0 dB pour tenir compte du fait que les bâtiments sont construits avec des matériaux différents.

FIGURE 34 Scénario à un seul dispositif





Conclusions pour le scénario 1 à un seul dispositif

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

FIGURE 36

Distribution pour le scénario 2 à un seul dispositif



Conclusions pour le scénario 2 à un seul dispositif

Les résultats du scénario 2 concernant un seul dispositif, dans lequel l'affaiblissement était de 0 dB pour simuler des murs en bois, montrent que le dispositif TESF doit être placé à plus de 28,1 m du récepteur de radioamateur.

7.2.2 Scénarios à plusieurs dispositifs

Ces scénarios reposent sur l'emploi de quatre dispositifs TESF situés à l'intérieur d'un bâtiment. Chaque dispositif TESF est placé à 1 m des murs, les quatre dispositifs étant répartis de manière aléatoire dans différents coins des pièces. Dans le premier scénario, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments était de 10 dB pour simuler les effets de murs en béton (le plus souvent en béton armé); dans le second, il était de 0 dB pour simuler un bâtiment en bois ou des murs en briques (conditions de propagation parfaites).





Pour simuler différents matériaux de construction du bâtiment, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments a été évalué pour des murs en bois et en béton afin de déterminer la distance de protection. Les valeurs correspondantes sont indiquées dans le Tableau 13.

TABLEAU 13

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

Paramètre	Nombre de murs	Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments – Murs en bois (dB)	Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments – Murs en béton (dB)
TESF1	2	0	20
TESF2	2	0	20
TESF3	1	0	10
TESF4	1	0	10



Conclusions pour le scénario 1 à plusieurs dispositifs

La distance de protection médiane est de 17,1 m et la distance maximale de protection de 23,2 m pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 10 dB lorsque les murs sont en béton. Cette fourchette de valeurs découle du fait que les dispositifs TESF ont été placés près des fenêtres. La distance maximale de 23,2 m est relevée lorsque le dispositif TESF est proche des murs extérieurs et/ou que les phases des signaux se chevauchent de façon constructive, et la distance minimale, qui peut être aussi réduite que 2,5 m, correspond au cas dans lequel le dispositif TESF est placé à côté de murs intérieurs et/ou que les phases des signaux se chevauchent de façon destructive.

FIGURE 39

Résultats de la simulation pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 0 dB



Conclusions pour le scénario 2 à plusieurs dispositifs

La distance de protection médiane est de 42 m et la distance maximale de protection de 51,3 m pour un affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 0 dB lorsque les murs sont en bois ou en briques. Cette fourchette de valeurs découle du fait que les dispositifs TESF ont été placés près des fenêtres. La distance maximale de 51,3 m est relevée lorsque le dispositif TESF est proche des murs extérieurs et/ou que les phases des signaux se chevauchent de façon constructive. La distance minimale, qui peut être aussi réduite que 17,2 m, correspond au cas dans lequel le dispositif TESF est placé à côté d'un mur intérieur et/ou les phases des signaux se chevauchent de façon destructive.

7.3 Résumé des résultats

Le Tableau 14 ci-dessous présente un résumé des résultats des simulations. Au regard de ces résultats, nous pouvons conclure que des chargeurs mobiles TESF n'utilisant pas de faisceau ont une incidence sur les récepteurs du service d'amateur lorsqu'ils sont situés à moins de 51,3 m de ces récepteurs.

Scénario	Niveau de brouillage autorisé (dBµV/m)	Distance de séparation (m)
Scénario 1 à un seul dispositif	25,6	15,3
Scénario 2 à un seul dispositif	25,6	28,1
Scénario 1 à plusieurs dispositifs	25,6	23,2
Scénario 2 à plusieurs dispositifs	25,6	51,3

TABLEAU 14 Résumé des résultats

L'emplacement exact (par exemple la différence de hauteur) de l'antenne de réception du service d'amateur est susceptible d'atténuer l'incidence du brouillage. En outre, il est peu probable que tous les chargeurs TESF fonctionnent sur la même fréquence, ce qui peut réduire encore l'incidence du brouillage. Néanmoins, il est assez probable que plusieurs dispositifs TESF se trouvent à portée du récepteur unique, étant donné que les distances de protection sont importantes dans le cas d'une zone urbaine.

8 Étude concernant les incidences des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation dans la bande de fréquences 90-110 kHz

Le récepteur Loran-C, qui fonctionne dans la bande de fréquences 90-110 kHz avec une largeur de bande de 20 kHz, est considéré comme un système existant victime de brouillages. Les caractéristiques du système Loran-C ont été établies par le GT 5B dans la Recommandation UIT-R M.589.

En général, les stations de système Loran-C sont construites dans des zones non résidentielles. La Figure 40 présente quelques exemples d'émetteur de ce système, le récepteur étant embarqué sur un navire.

FIGURE 40

<image>

Rapport SM.244940

8.1 Paramètres employés dans la simulation

Les Tableaux 15 et 16 présentent les paramètres employés dans la simulation respectivement pour le brouilleur et le récepteur victime.

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

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

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

TABLEAU 15

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

Paramètres	Détails
Type de dispositif	Dispositif TESF mobile
Fréquences de fonctionnement (kHz)	100-148,5
Champ électrique rayonné (dBµV/m à 10 m)	44,08

46

47

TABLEAU 15 (fin)

Paramètres	Détails
Type d'antenne	Équidirective
Hauteur (m)	0,7
Distance minimale à partir de la côte (m)	50
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB) ¹⁶	10
Modèle de propagation	Modèle de champ proche et en espace libre

TABLEAU 16

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

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

Le critère de protection employé est repris de la Fig. 1 de la Recommandation UIT-R M.589. Selon ce document, le critère de protection concernant les brouillages dans la bande et hors bande devrait suivre la courbe de la Fig. 41. Nous avons employé la courbe correspondant au pire scénario (quasi-synchrone) pour évaluer le risque de brouillage.

Nous avons considéré que le pire scénario était de -20 dB par rapport à la courbe quasi-synchrone à 100 kHz (soit un décalage de 0 kHz par rapport à 100 kHz); un bruit de 25 dBµV/m est donc acceptable dans le récepteur du Loran-C. Nous avons en outre considéré que le pire scénario était de -13 dB par rapport à la courbe quasi-synchrone à 110 kHz; un bruit de 32 dBµV/m est donc acceptable dans le récepteur du Loran-C. Compte tenu de ces hypothèses, et aux fins de la présente évaluation, nous avons appliqué un niveau de bruit maximal acceptable de 25 dBµV/m à 100 kHz dans le récepteur du Loran-C. La Figure 41 ci-dessous montre le critère de protection contre les brouillages indiqué dans la Recommandation UIT-R M.589, et le Tableau 17 résume les paramètres de brouillage pris par hypothèse.

¹⁶ L'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments signifie en l'espèce l'affaiblissement dû à la sortie des bâtiments du signal TESF. Il est pleinement applicable en l'espèce, étant donné que l'effet d'affaiblissement des matériaux du bâtiment vaut pour le champ lointain.



FIGURE 41 Critère de protection Loran-C/onde entretenue

TABLEAU 17

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

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

TABLEAU 18

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

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

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

La Figure 42 illustre la distribution du champ électrique de la station Loran-C à mesure que la distance s'accroît, pour une puissance de 40 kW à la station. À l'intérieur de la zone visée, qui se situe entre 1 700 et 2 400 km, le champ du signal de la station est très supérieur au niveau minimum requis.

FIGURE 42

Distribution classique du champ électrique de la station Loran-C Distribution de l'intensité du champ électrique pour plusieurs dispositifs TESF 300 290 280 270 260 2*5*0 240 230 Station Loran-C: 40 kW 220210 200 Fréquence de fonctionnement : 100 kHz Champ électrique (dbuV/m) Couverture max: 1700-2400 km 190 180 Champ électrique min. pour la couverture: 45 dbuV/ 170 160 150 140 130 120 110 100 1 700 km 90 80 70 56,18 dB₁J/m 60 50 40 30 45 dB ₁1/m 2 400 Jan 20 10 53,15 dB,J/m 0 103 101 10^{2} 10 107 10^{2} 10 10 Distance (m) Champ électrique du Loran-C Champ électrique min pour la couverture Rapport SM.2449-42

Modèle d'antenne du récepteur du Loran-C

Aux fins de cette évaluation, nous avons considéré que l'antenne du récepteur du Loran-C était une antenne tige montée au sommet du navire. Selon les résultats de la simulation présentés dans la Fig. 43, la variation de gain d'antenne entre le signal non désiré et le signal utile est de –11,73 dB.



FIGURE 43 Gain d'antenne du récepteur du Loran-C

8.2 Scénarios et résultats de la simulation

8.2.1 Modèle de simulation N° 1

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



FIGURE 44 Modèle N° 1 de l'étude des incidences sur le récepteur du Loran-C

La Figure 45 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 1 (scénario à un seul dispositif). Lorsque le dispositif TESF fonctionne à 100 kHz, il y a une marge de 80 dB entre le signal à protéger (26,21 dB μ V/m) et le champ électrique de l'émetteur du Loran-C, qui est supérieur à 110 dB μ V/m sur la côte.

TABLEAU 19

mouth in concernant is recepted an Loran-C (an seur disposition	Modèle N° 1	concernant le réce	pteur du Loran-	C (un seul	dispositif
---	-------------	--------------------	-----------------	------------	------------

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



La Figure 46 synthétise les résultats obtenus dans les scénarios à plusieurs dispositifs. Elle illustre les niveaux de signal du champ électrique lorsque 100 ou 10 000 dispositifs TESF fonctionnent simultanément. Lorsque 10 000 dispositifs TESF fonctionnent à 100 kHz simultanément, il y a une marge de 3,88 dB entre le signal à protéger (66 dB μ V/m pour 100 dispositifs et 106,12 dB μ V/m pour 10 000 dispositifs) et le champ électrique de l'émetteur du Loran-C, qui est supérieur à 110 dB μ V/m sur la côte.



FIGURE 45

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

8.2.2 Modèle de simulation N° 2

Dans le modèle N° 2, nous avons considéré que l'émetteur du Loran-C situé sur terre se trouvait à 5 km de la côte. Le dispositif TESF mobile se trouvait plus bas que le pont du navire et le récepteur du Loran-C était en haut du navire. En reprenant dans le Tableau 18 l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments de 10 dB et le rapport E/H de 17,95 dB, le brouillage autorisé du champ électrique à 10 m est de 34,08 dBµV/m. Comme il est indiqué dans le Tableau 16, le rapport I/S doit être de -20 dB I/S. Le niveau maximal acceptable de signal brouilleur est alors de 42,35 dBµV/m selon l'équation ci-dessous, pour un dispositif TESF mobile fonctionnant à 10 m de l'antenne de réception du Loran-C.

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

Niveau de brouillage – variation de gain + niveau de protection = $34,08 - 11,73 + 20 = 42,35 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

Modèle Nº 2 - Scénario à un seul dispositif

Le Tableau 20 présente les paramètres d'entrée et les résultats de la simulation effectuée selon le modèle N° 2 dans un scénario à un seul dispositif. Les résultats montrent qu'un dispositif TESF présentant un champ électrique de 34,08 dB μ V/m devrait être placé à une distance supérieure à 5,37 m de l'antenne de réception du Loran-C pour maintenir un niveau de signal minimum à la distance de couverture maximale de 2 400 km.

TABLEAU 20

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

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

La Figure 47 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 2 dans le scénario à un seul dispositif. Elle illustre les résultats relatifs à la distance de protection qui sont indiqués dans le Tableau 20.



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



Modèle N° 2 – Scénario à plusieurs dispositifs

Dans ce scénario, nous avons considéré que cinq dispositifs TESF mobiles fonctionnaient simultanément en-dessous du niveau du pont du navire, les dispositifs étant séparés de 3 m les uns des autres, comme le montre la Fig. 48. Les paramètres d'entrée du scénario à plusieurs dispositifs sont indiqués dans le Tableau 21.



FIGURE 48 Modèle N° 2 concernant le récepteur du Loran-C (plusieurs dispositifs)

TABLEAU 21

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

Paramètres	Valeur
Nombre de dispositifs TESF actifs	5
Champ électrique du dispositif TESF à 300 m (dBµV/m)	-15
Champ électrique du dispositif TESF à 10 m (dBµV/m)	44,08
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments (dB)	10
Champ électrique du dispositif TESF à 10 m ($dB\mu V/m$) avec l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	34,08
Variation du gain d'antenne pour le signal utile et le brouillage du TESF (dB)	-11,73
Rapport de protection (dB)	20
Couverture du niveau de signal protégé (km) à une distance de protection de base de 10 m	8 355
Niveau du signal à protéger à 1 700 km (dBµV/m)	56,18
Distance de protection (m) pour une couverture de 1 700 km	9,4
Niveau du signal à protéger à 2 400 km (dBµV/m)	53,13
Distance de protection (m) pour une couverture de 2 400 km	11,4

La Figure 49 synthétise les résultats obtenus avec le modèle N° 2 dans le scénario à plusieurs dispositifs. Pour ne pas brouiller le récepteur du Loran-C à la couverture maximale de 2 400 km, les dispositifs TESF les plus proches de l'antenne de réception du Loran-C doivent être éloignés de 11,4 m.



FIGURE 49

Modèle N° 2 de l'étude des incidences sur le récepteur du Loran-C (niveau de signal pour plusieurs dispositifs)

Rapport SM.2449-49

8.3 Résumé des résultats

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

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

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

9 Étude concernant les incidences des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation aéronautique, en ce qui concerne les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz

9.1 Paramètres employés dans la simulation

La simulation est effectuée à deux fréquences représentatives: 130 kHz pour les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz et 400 kHz pour les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz.

Pour la fréquence de 130 kHz, aux États-Unis d'Amérique, les exigences de mesure relatives aux dispositifs fonctionnant dans les fréquences radioélectriques en champ proche sont régies par le § 47 CFR Part 15.31 (2). Après avoir appliqué le facteur d'extrapolation imposé par la FCC, qui est de 40 dB par décade pour un champ de $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à 300 m, la limite de ces dispositifs est de 44,08 dB μ V/m à 10 m. Une modélisation a été employée pour la propagation en champ proche.

Pour la fréquence de 400 kHz, l'étude s'est intéressée à la valeur proposée de $-15 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ comme étant le rayonnement maximal pour les dispositifs TESF. La modélisation a été utilisée pour la propagation en champ proche. Pour les besoins de l'étude, on a supposé que tous les dispositifs TESF utilisaient la même fréquence (400 kHz), tandis que, dans la réalité, on peut observer une assez grande dispersion des fréquences de chargement, selon la mise en œuvre effective, l'état du chargement, etc.

Le groupe concerné au sein de l'UIT-R a fourni les données de base qui sont présentées dans le Tableau 22 ci-dessous afin de permettre l'analyse de ces incidences.

TABLEAU 22

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

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

Il est tenu compte de l'effet global dans les simulations en additionnant la totalité des rayonnements TESF émis par chaque dispositif.

À titre d'analyse de sensibilité, les résultats sont aussi présentés avec une marge supplémentaire de 6 dB.

Les différents niveaux sont illustrés à la Fig. 50.



9.2 Scénario à un seul dispositif

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



FIGURE 51 Scénario à un seul dispositif

9.2.1 Résultats du scénario à un seul dispositif



Dispositif TESF à 130 kHz: champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus du sol (m)



FIGURE 53

Dispositif TESF à 130 kHz: champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus du sol (m) (détail)



FIGURE 54





FIGURE 55

Dispositif TESF à 400 kHz: champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus du sol (m), la bobine du dispositif étant orientée à la verticale



Dispositif TESF à 400 kHz: champ électrique d'un seul dispositif vs. altitude au-dessus

9.2.2 Conclusions du scénario à un seul dispositif

Les résultats du scénario à un seul dispositif montrent que les incidences sur le récepteur ADF sont inférieures au seuil de brouillage à une distance supérieure à 6 m. Compte tenu de la marge de sécurité, la distance est supérieure à 8,4 m. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans les calculs; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs TESF au récepteur ADF.

9.3 Scénario à plusieurs dispositifs

Le scénario à plusieurs dispositifs se décompose comme suit: 5 000 dispositifs/km² pour le scénario à 130 kHz et 1 500 dispositifs/km² pour le scénario à 400 kHz, conformément au Tableau 1.

Ce scénario repose sur les hypothèses les plus défavorables: tous les appareils émettent en même temps et exactement à la même fréquence. Dans la réalité, la fréquence fondamentale des dispositifs TESF varie.

9.3.1 Dispositif TESF à 130 kHz

9.3.1.1 Scénario à 130 kHz

Dans ce scénario à plusieurs dispositifs TESF, ceux-ci sont répartis uniformément dans une surface carrée. Plusieurs tailles de cette surface sont utilisées, allant de 1 km × 1 km à 8 km × 8 km. Deux altitudes d'aéronef, de 100 m et de 300 m, ont été simulées. À titre de référence, les altitudes minimales de sécurité aux États-Unis d'Amérique sont de 500 pieds (\approx 150 m) en haute mer ou au-dessus de zones peu peuplées, et de 1 000 pieds (\approx 300 m) au-dessus de zones urbaines. L'antenne du récepteur ADF embarqué dans l'aéronef se trouve au-dessus du centre du carré. Les champs rayonnés sont cumulés par agrégation vectorielle.





Le Tableau 23 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 100 m.

Champ electrique de plusieurs dispositifs i ESF (antitude de l'actorier. 100 m)						
Superficie (km x km)	Champ él.	Mananna	Brouillage	Marge/é	cart (dB)	
	max. (dBμV/m)	(dBµV/m)	max. autorisé (dBμV/m)	Sans marge de sécurité	Avec marge de sécurité	
1 x 1	-6,3	16,7	21,9	28,2	22,2	
2 x 2	-5,5	-15,9	21,9	27,4	21,4	
4 x 4	-4,8	-15,3	21,9	26,7	20,7	

-14.6

TABLEAU 23

Champ électrique de plusieurs dispositifs TESF (altitude de l'aéronef: 100 m)

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

-5

La simulation a montré que le champ maximum calculé est inférieur de plus de 26 dB au brouillage maximum autorisé. Si l'on tient compte de la marge de sécurité, il est inférieur de plus de 20 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs TESF au récepteur ADF.

21.9

26.9

20.9

Le Tableau 24 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 300 m.

TABLEAU 24

Champ électrique de plusieurs dispositifs TESF (altitude de l'aéronef: 300 m)

Suparfiaia	Champ él.	Moyenne (dBµV/m)	Brouillage	Marge/écart (dB)	
(km x km)	max. (dBμV/m)		(dBµV/m) max. autoris (dBµV/m)	max. autorisé (dBμV/m)	Sans marge de sécurité
1 x 1	-16,5	-25,5	21,9	38,4	32,4
2 x 2	-13,4	-22,2	21,9	35,3	29,3
4 x 4	-11,0	-20,1	21,9	32,9	26,9
8 x 8	-10,4	-18,6	21,9	32,3	26,9

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

La simulation a montré que le champ maximum calculé est inférieur de plus de 32 dB au brouillage maximum autorisé. Si l'on tient compte de la marge de sécurité, il est inférieur de plus de 26 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs TESF au récepteur ADF.

9.3.1.4 Incidence de la taille de la surface par rapport à la zone des brouillages subis

En augmentant la surface de calcul, on constate que le niveau des brouillages reste identique au-delà de 15 km² pour une altitude de 100 m et de 30 km² pour une altitude de 300 m, comme l'indique la Fig. 57.

8 x 8



9.3.2 Dispositif TESF à 400 kHz

9.3.2.1 Scénario à 400 kHz

Dans ce scénario à plusieurs dispositifs TESF, ceux-ci sont répartis uniformément dans une surface carrée. Plusieurs tailles de cette surface sont utilisées, allant de 1 km \times 1 km à 16 km \times 16 km. Deux altitudes d'aéronef, de 100 m et de 300 m, ont été simulées. À titre de référence, les altitudes minimales de sécurité au Royaume-Uni sont de 500 pieds (\approx 150 m) en haute mer ou au-dessus de zones peu peuplées, et de 1 000 pieds (\approx 300 m) au-dessus de zones urbaines. L'antenne du récepteur ADF embarqué dans l'aéronef se trouve au-dessus du centre du carré. Les champs rayonnés sont cumulés par agrégation vectorielle.



FIGURE 58 Description illustrative d'un scénario à plusieurs dispositifs

Rapport SM.2449-58

Le Tableau 25 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 100 m.

TABLEAU 25

Superficie	Superficie Champ él. Meyerne Brouillage max.		Marge/éca	art (dB)	
(km × km)	max. (dBµV/m)	(dBµV/m)	autorisé (dBµV/m)	Sans marge de sécurité	Avec marge de sécurité
1×1	-5,5	-14,4	21,9	27,4	21,4
2×2	-3,9	-12,7	21,9	25,8	19,8
4×4	-3,2	-11,7	21,9	25,1	19,1
8 × 8	-3,5	-11,7	21,9	25,4	19,4

Champ électrique de plusieurs dispositifs TESF (altitude de l'aéronef: 100 m)

9.3.2.2 Conclusions pour une altitude de l'aéronef de 100 m à 400 kHz

La simulation a montré que le champ maximum calculé est inférieur de plus de 25 dB au brouillage maximum autorisé. Si l'on tient compte de la marge de sécurité, il est inférieur de plus de 19 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs TESF au récepteur ADF.

Le Tableau 26 illustre les résultats obtenus pour un aéronef se trouvant à une altitude de 300 m.

TABLEAU 26

Superficie Cha	Champ él. Moyonno	Duouillaga may autoniaá	Marge/écart (dB)		
(km × km)	max. (dBµV/m)	(dBµV/m)	(dBµV/m)	Sans marge de sécurité	Avec marge de sécurité
1×1	-11,5	-20,3	21,9	33,4	27,4
2×2	-8,1	-16,6	21,9	30,0	24,0
4×4	-6,2	-14,2	21,9	28,1	22,1
8 × 8	-4,2	-12,6	21,9	26,1	20,1
16 × 16	-3,9	-11,5	21,9	25,8	19,8

Champ électrique de plusieurs dispositifs TESF (altitude de l'aéronef: 300 m)

9.3.2.3 Conclusions pour une altitude de l'aéronef de 300 m à 400 kHz

La simulation a montré que le champ maximum calculé est inférieur de plus de 25 dB au brouillage maximum autorisé. Si l'on tient compte de la marge de sécurité, il est inférieur de plus de 19 dB au brouillage maximum autorisé. Les affaiblissements dus à la pénétration dans les plafonds et les sols n'ont pas été pris en compte dans la simulation; ils réduiraient encore davantage les incidences des brouillages causées par les dispositifs TESF au récepteur ADF.

9.3.2.4 Incidence de la taille de la surface par rapport à la zone des brouillages subis à 400 kHz

En augmentant la surface de calcul, on constate que le niveau des brouillages reste identique au-delà de 20 km² pour une altitude de 100 m et de 60 km² pour une altitude de 300 m, comme l'indique la Fig. 59.



FIGURE 59

9.4 Résumé des résultats

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

Analyses génériques concernant les incidences de dispositifs TESF sur les services de 10 radiocommunication (par exemple, le service fixe ou le service mobile)

10.1 Étude de Monte Carlo pour un seul dispositif exploité dans le même canal concernant les incidences de dispositifs TESF (315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz) sur les services de radiocommunication

Cette étude analyse le niveau d'un seul dispositif TESF exploité dans le même canal que le récepteur d'un service de radiocommunication tel que le service mobile ou le service fixe. Elle ne s'applique pas à des récepteurs se trouvant à l'intérieur de bâtiments, utilisés notamment pour la radiodiffusion MA, pour lesquels il faudrait comparer les incidences du brouillage au bruit dû à une seule porteuse. Leur niveau est plus élevé que celui du bruit blanc gaussien utilisé ici pour la comparaison, sans que l'on sache précisément toutefois dans quelle mesure.

10.1.1 Paramètres

10.1.1.1 Dispositifs TESF

10.1.1.1.1 Rayonnements TESF

Les rayonnements TESF utilisés dans cette étude sont indiqués dans le Tableau 27.

TABLEAU 27

Rayonnements TESF

Paramètre	Valeur
Rayonnements TESF maximaux, alignement le plus défavorable (dBµA/m à 10 m)	-15
Rayonnements TESF minimaux, alignement le plus favorable (dBµA/m à 10 m)	-30
Fréquence de fonctionnement TESF 1 (kHz)	400
Fréquence de fonctionnement TESF 2 (kHz)	1 650
Fréquence de fonctionnement TESF 3 (kHz)	2 000

Chaque dispositif TESF est construit de façon à émettre seulement le niveau maximal autorisé dans la position d'alignement la plus défavorable des deux bobines, encore que pour bon nombre des positions d'alignement, le niveau rayonné effectif soit nettement plus faible. L'effet de l'alignement est pris en compte en sélectionnant un niveau de rayonnement au hasard entre l'alignement le plus favorable et le moins favorable.

Pour cette étude, l'incidence d'un dispositif TESF exploité dans le même canal est analysée.

10.1.1.1.2 Paramètres des services de radiocommunication

Le Tableau 28 indique les paramètres des services de radiocommunication utilisés dans les analyses.

TABLEAU 28

Paramètres des services de radiocommunication

Paramètre	Valeur
Largeur de bande du récepteur (kHz)	2,7 ⁽¹⁾
Fréquence du récepteur (kHz)	400, 1 650, 2 000
Bruit du récepteur	Bruit artificiel (voir § 10.1.2.3.3)
Antenne	Omnidirectionnelle
Hauteur au-dessus du niveau du sol (m)	1,5

⁽¹⁾ Les canaux adjacents n'ont pas été pris en compte, les canaux qui se chevauchent ont été considérés comme un seul et même canal.

L'effet du brouillage est analysé en calculant le niveau médian de brouillage en fonction de la distance.

10.1.1.1.3 Propagation

10.1.1.1.3.1 Modèle de propagation

Voir l'Annexe 3.

10.1.1.1.3.2 Affaiblissements de propagation supplémentaires

On part du principe que dans les villes, un objet métallique se trouve sur le trajet entre la source de brouillage et le récepteur du service de radiocommunication dans 30% des cas (fenêtres métallisées, murs/planchers en béton armé, portes/portails, clôtures), tandis que dans les zones résidentielles, un tel cas de figure est peu probable. Il est aussi possible d'interpréter ces valeurs comme le pourcentage de bâtiments présentant un bon rendement thermique, décrits par la Recommandation UIT-R P.2109 comme utilisant du verre métallisé ou des panneaux à feuille d'aluminium. Les paramètres utilisés pour le calcul sont indiqués dans le Tableau 29.

La propagation à travers le bois ou les briques n'entraîne pas d'affaiblissement supplémentaire.

TABLEAU 29

Affaiblissements de propagation supplémentaires

Paramètre	Pourcentage applicable	Valeur (dB)
Affaiblissements de propagation en milieu urbain	30%	10
Autres milieux	_	_

Lorsque l'affaiblissement n'était pas applicable, aucun affaiblissement n'a été appliqué, soit une valeur de 0 dB.

10.1.1.1.3.3 Environnement de bruit

La bande de fréquences considérée est souvent dominée par le bruit artificiel. La référence utilisée pour l'analyse est la Recommandation UIT-R P.372. Des mesures du bruit artificiel effectuées aux Pays-Bas (MN) sont également utilisées pour l'analyse [1], [3]. Ces mesures ont été effectuées à une distance d'au moins 10 m du mur du bâtiment le plus proche. Il est précisé en [3] que les mesures visent à décrire le bruit artificiel subi par des utilisateurs de services de radiocommunication, tels que des radioamateurs.

Les Tableaux 30 et 31 indiquent les niveaux de bruit médians prévus dans la Recommandation UIT-R P.372 et provenant de mesures du bruit artificiel effectuées aux Pays-Bas (MN), convertis en champ magnétique à l'aide d'un facteur de correction de 51,5 dB.

TABLEAU 30

Niveaux de bruit prévus dans la Recommandation UIT-R P.372

Paramètre	Niveau (dBµA/m)	Écart type (dB)
400 kHz		
Bruit en zone urbaine	-32,82	8,4
Bruit en zone résidentielle	-37,12	5,8
1 650 kHz		
Bruit en zone urbaine	-37,56	8,4
Bruit en zone résidentielle	-41,86	5,8
2 000 kHz		
Bruit en zone urbaine	-38,20	8,4
Bruit en zone résidentielle	-42,50	5,8

TABLEAU 31

Paramètre	Niveau (dBµA/m)	Écart type (dB)	
400 kHz			
Bruit en zone urbaine	-18,47	5,6	
Bruit en zone résidentielle	-23,97	9,5	
1 650 kHz			
Bruit en zone urbaine	-26,23	6,4	
Bruit en zone résidentielle	-32,34	5,5	
2 000 kHz			
Bruit en zone urbaine	-27,28	6,4	
Bruit en zone résidentielle	-33,84	5,5	

Niveaux de bruit provenant de mesures effectuées aux Pays-Bas (MN)

10.1.1.1.3.4 Affaiblissement dû à la discrimination

L'alignement de l'antenne des récepteurs du service de radiocommunication sur le champ produit par le chargeur TESF n'est pas fixe. Un affaiblissement de discrimination aléatoire est créé en produisant tout d'abord un angle non concordant aléatoire, θ , que l'on répartit uniformément de 0 à 360 degrés. On obtient alors l'affaiblissement dû à la discrimination, exprimé en dB, avec la formule suivante:

Affaiblissement de discrimnation = min $(-10 \log_{10}(\cos^2 \theta), 35)$

L'affaiblissement est plafonné à 35 dB à l'axe de visée pour tenir compte des imperfections dans la conception de l'antenne et de la bobine.

10.1.2 Méthodologie

Il est procédé à une simulation de Monte Carlo à un seul dispositif pour analyser l'incidence statistique d'un chargement TESF à 400 kHz, à 1 650 kHz et à 2 000 kHz. La situation des brouillages est surtout dominée dans ces bandes par un bruit artificiel que l'on caractérise par une valeur moyenne et un écart-type (distribution spatiale). Tout service de radiocommunication fonctionnant dans ces bandes sera exposé à ce niveau de bruit artificiel. Étant donné son caractère statistique, l'analyse a été menée de façon à examiner la différence avec et sans dispositifs TESF sur la médiane.

Le montage de la simulation est le suivant:

- Placer un seul récepteur de services de radiocommunication à une distance de 5 m du dispositif de radiocommunication TESF.
- Boucle à 20 000 événements:
 - Un niveau de rayonnement est attribué au dispositif TESF (en variant aléatoirement de l'alignement du plus favorable au plus défavorable).
 - Calculer le niveau (la somme) des brouillages subis de la part du dispositif TESF (y compris l'affaiblissement de la propagation et la discrimination).
 - Stocker le niveau de brouillage.
 - Calculer la médiane des niveaux de brouillage.
- Augmenter de 0,1 m la distance entre le récepteur unique de services de radiocommunication et le dispositif TESF.
- Montrer comment le niveau de rayonnement médian d'un dispositif TESF change en fonction de la distance par rapport au récepteur de services de radiocommunication.

10.1.3 Résumé des résultats

Les résultats détaillés sont présentés à la Fig. 60. La courbe bleue correspond à un seul cas s'agissant du dispositif TESF: celui dans lequel l'alignement entre les bobines du chargeur TESF et celles du récepteur est toujours le plus défavorable (ce qui représente la limite supérieure), tandis que la courbe orange est fondée sur un alignement aléatoire entre les bobines (allant du moins au plus favorable, de même que le rayonnement). Les lignes horizontales représentent les niveaux médians de bruit artificiel à 400 kHz, à 1 650 kHz et à 2 000 kHz.





b) Pour les mesures effectuées aux Pays-Bas

Rapport SM.2449-60

La Figure 61 montre la distance à laquelle le niveau médian des brouillages dus à un dispositif TESF devient inférieur au bruit de fond médian.





Le Tableau 32 présente un résumé des distances auxquelles le rayonnement du chargeur TESF devient inférieur au niveau médian de bruit artificiel pour une étude à un seul dispositif.

TABLEAU 32

Distances en m auxquelles le rayonnement du chargeur TESF devient inférieur au niveau médian de bruit artificiel pour une étude à un seul dispositif

	Niveau de bruit	Distance pour l'alignement le plus défavorable (m)	Distance pour l'alignement aléatoire (m)
Villes	Recommandation UIT-R P.372	de 15 à 19	de 11 à 14
	Mesures effectuées aux Pays-Bas	de 9 à 13	de 7 à 9
Zones résidentielles	Recommandation UIT-R P.372	de 21 à 26	de 15 à 18
	Mesures effectuées aux Pays-Bas	de 13 à 18	de 9 à 13

Cette étude à un seul dispositif correspond à une analyse du scénario le plus défavorable, étant donné qu'elle se fonde sur l'hypothèse que le rayonnement TESF est toujours émis dans le même canal que le récepteur de services de radiocommunication.

10.2 Étude de Monte Carlo pour plusieurs dispositifs concernant les incidences de dispositifs TESF (315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz) sur les services de radiocommunication

Cette étude analyse le niveau de dispositifs TESF par rapport à un récepteur d'un service de radiocommunication tel que le service mobile ou le service fixe. Elle ne s'applique pas à des récepteurs se trouvant à l'intérieur de bâtiments, utilisés notamment pour la radiodiffusion MA, pour lesquels il faudrait comparer les incidences du brouillage au bruit dû à une seule porteuse. Leur niveau est plus élevé que celui du bruit blanc gaussien utilisé ici pour la comparaison, sans que l'on sache précisément toutefois dans quelle mesure.

10.2.1 Paramètres

10.2.1.1 Dispositifs TESF

10.2.1.1.1 Rayonnements TESF

Les rayonnements TESF utilisés dans cette étude sont indiqués dans le Tableau 33.

TABLEAU 33

Rayonnements TESF

Paramètre	Valeur
Rayonnements TESF maximaux, alignement le plus défavorable (dBµA/m à 10 m)	-15
Rayonnements TESF minimaux, alignement le plus favorable (dBµA/m à 10 m)	-30
Fréquence de fonctionnement TESF 1 kHz	350-400
Fréquence de fonctionnement TESF 2 kHz	1 750-1 800
Fréquence de fonctionnement TESF 3 kHz	2 000-2 050
Largeur de bande TESF	<1 kHz

Chaque dispositif TESF est construit de façon à émettre seulement le niveau maximal autorisé dans la position d'alignement la plus défavorable des deux bobines, encore que pour bon nombre des positions d'alignement, le niveau rayonné effectif soit nettement plus faible. Pour en tenir compte, on sélectionne un niveau de rayonnement au hasard entre l'alignement le plus favorable et le moins favorable.

En général, les dispositifs TESF ont un rayonnement à bande très étroite par rapport à la largeur de bande des récepteurs de services de radiocommunication. Le signal de chargement est très semblable à un signal à onde entretenue et l'incidence sur les canaux adjacents n'a donc pas été prise en considération.

10.2.1.1.2 Distribution en hauteur des dispositifs TESF

Les dispositifs TESF sont répartis uniformément sur tous les étages d'un bâtiment. La hauteur de chaque étage est présumée être de 3 m. Les dispositifs de l'étage le plus bas sont présumés se trouver à 1,5 m au-dessus du sol. La distribution en hauteur est indiquée dans le Tableau 34.

TABLEAU 34

Distribution en hauteur des dispositifs TESF

Environnement	Nombre d'étages
Zone urbaine dense (20 000 hab./km ²)	6
Zone urbaine (5 000 hab./km ²)	4
Zone résidentielle (2 000 hab./km ²)	2



Les bâtiments situés dans les zones urbaines peuvent avoir plus de six étages. Pour cette étude, la densité en dispositifs dans une zone est présumée fixe. L'utilisation d'étages plus élevés dans les calculs conduirait donc à une incidence plus faible. Les dispositifs TESF situés aux étages supérieurs auraient une moindre incidence étant donné la plus grande distance avec le récepteur susceptible d'être brouillé. Les paramètres utilisés dans cette étude peuvent ne pas s'appliquer à tous les environnements.

10.2.1.1.3 Densité/déploiement

Les Tableaux 35, 36 et 37 indiquent la densité des dispositifs TESF pour les services de radiocommunication utilisés dans les analyses sur la base du Tableau 1.

TABLEAU 35

Densité de dispositifs exploités dans la fréquence 1 (400 kHz)

Paramètre	Valeur
Densité en zone urbaine (zone dense: 20 000 hab./km ²)	$1 500/km^2$
Densité en zone urbaine (5 000 hab./km ²)	375/km ²
Densité en zone résidentielle (2 000 hab./km ²)	150/km ²
Durée habituelle du chargement	1-2 heures
Dispositifs chargés pendant les heures de pointe (nuit: de minuit à 7 heures)	100%
Dispositifs chargés pendant les heures creuses (journée: de 9 h 00 à 21 h 30)	1/4
TABLEAU 36

Densité de dispositifs exploités dans la fréquence 2 (1 800 kHz)

Paramètre	Valeur
Densité en zone urbaine (zone dense: 20 000 hab./km ²)	500/km ²
Densité en zone urbaine (5 000 hab./km ²)	125/km ²
Densité en zone résidentielle (2 000 hab./km ²)	50/km ²
Durée habituelle du chargement	1-2 heures
Dispositifs chargés pendant les heures de pointe (nuit: de minuit à 7 heures)	100%
Dispositifs chargés pendant les heures creuses (journée: de 9 h 00 à 21 h 30)	1/3

TABLEAU 37

Densité de dispositifs exploités dans la fréquence 3 (2 000 kHz)

Paramètre	Valeur
Densité en zone urbaine (zone dense: 20 000 hab./km ²)	500/km ²
Densité en zone urbaine (5 000 hab./km ²)	125/km ²
Densité en zone résidentielle (2 000 hab./km ²)	50/km ²
Durée habituelle du chargement	1-2 heures
Dispositifs chargés pendant les heures de pointe (nuit: de minuit à 7 heures)	100%
Dispositifs chargés pendant les heures creuses (journée: de 9 h 00 à 21 h 30)	1/3

L'étude part du principe que tous les appareils TESF fonctionnent pendant les heures de pointe. Ce n'est pas le cas dans la réalité. Le niveau d'incidence est donc probablement surestimé.

Il existe une corrélation entre les niveaux de bruit artificiel et la densité de population [3]; différentes densités de dispositifs TESF sont donc étudiées en relation avec les niveaux de bruit correspondants.

10.2.1.2 Paramètres des services de radiocommunication

Le Tableau 38 indique les paramètres des services de radiocommunication utilisés dans les analyses.

TABLEAU 38

Paramètre	Valeur
Largeur de bande du récepteur (kHz)	$2,7^{(1)}$
Fréquence du récepteur (kHz)	400, 1 800, 2 000
Bruit du récepteur	Bruit artificiel dans la largeur de bande de 2,7 kHz (voir § 10.2.1.3.3)
Antenne	Omnidirectionnelle
Hauteur au-dessus du niveau du sol (m)	1,5

Paramètres des services de radiocommunication

(1) La largeur de bande de récepteur de services de radiocommunication utilisée est de 2,7 kHz. Cependant, afin de tenir compte des imperfections possibles du récepteur de services de radiocommunication et du dispositif TESF, la largeur de bande effective considérée a été portée de 1 kHz à 3,7 kHz, ce qui conduit à une estimation plus élevée de la quantité de bruit dans la largeur de bande du récepteur. Les résultats présentés doivent donc être considérés comme le scénario le plus défavorable.

Une distance minimale entre le dispositif TESF et le récepteur du service de radiocommunication est présumée. En zone urbaine, cette distance est de 5 m, et en zone résidentielle, elle est fixée à 10 m. Les distances retenues correspondent soit à la distance minimale habituelle entre les services de radiocommunication, soit à la portée en exploitation de l'opérateur du récepteur de services de radiocommunication. Pour [3], on a utilisé une distance d'au moins 10 m projetée depuis le mur extérieur du bâtiment le plus proche comme distance type entre les bâtiments et les emplacements de réception des antennes de radioamateurs pour les bandes hectométriques et décamétriques. L'effet du brouillage est analysé d'après l'augmentation du niveau de bruit.

Cette augmentation du niveau de bruit représente le niveau de brouillage qui arrive dans la largeur de bande de 2,7 kHz et s'ajoute dans celle-ci au bruit artificiel. Le brouillage causé par le dispositif TESF est ainsi traité uniquement comme un facteur contribuant à la puissance du bruit et non comme une porteuse unique à bande très étroite. Le résultat concerne donc seulement les systèmes auxquels est applicable l'hypothèse selon laquelle le brouillage peut être traité comme du bruit, à savoir les systèmes de communications numériques.

10.2.1.3 Propagation

10.2.1.3.1 Modèle de propagation

Voir l'Annexe 3.

10.2.1.3.2 Affaiblissements de propagation supplémentaires

On part du principe que dans les villes, un objet métallique se trouve sur le trajet entre la source de brouillage et le récepteur du service de radiocommunication dans 30% des cas (fenêtres métallisées, murs/planchers en béton armé, portes/portails, clôtures), tandis que dans les zones résidentielles, un tel cas de figure est peu probable. Il est aussi possible d'interpréter ces valeurs comme le pourcentage de bâtiments présentant un bon rendement thermique, décrits par la Recommandation UIT-R P.2109 comme utilisant du verre métallisé ou des panneaux à feuille d'aluminium. Les paramètres utilisés pour le calcul sont indiqués dans le Tableau 39.

La propagation à travers le bois ou les briques n'entraîne pas d'affaiblissement supplémentaire.

TABLEAU 39

Affaiblissements de propagation supplémentaires

Paramètre	Pourcentage applicable	Valeur (dB)
Affaiblissements de propagation en milieu urbain	30%	10
Autres milieux	_	_

Lorsque l'affaiblissement n'était pas applicable, aucun affaiblissement n'a été appliqué, soit une valeur de 0 dB.

10.2.1.3.3 Environnement de bruit

La bande de fréquences considérée est souvent dominée par le bruit artificiel. La référence utilisée pour l'analyse est la Recommandation UIT-R P.372. Des mesures du bruit artificiel effectuées aux Pays-Bas (MN) sont également utilisées pour l'analyse [1], [3]. Ces mesures ont été effectuées à une distance d'au moins 10 m du mur du bâtiment le plus proche. Il est précisé en [3] que les mesures visent à décrire le bruit artificiel subi par des utilisateurs de services de radiocommunication, tels que des radioamateurs.

Les Tableaux 40 et 41 indiquent les niveaux de bruit médians prévus dans la Recommandation UIT-R P.372 et provenant de mesures du bruit artificiel effectuées aux Pays-Bas (MN), convertis en champ magnétique à l'aide d'un facteur de correction de 51,5 dB.

TABLEAU 40

Paramètre	Niveau (dBµA/m)	Écart type (dB)		
400 kHz				
Bruit en zone urbaine	-32,82	8,4		
Bruit en zone résidentielle	-37,12	5,8		
1 650 kHz				
Bruit en zone urbaine	-37,85	8,4		
Bruit en zone résidentielle	-42,15	5,8		
2 000 kHz				
Bruit en zone urbaine	-38,20	8,4		
Bruit en zone résidentielle	-42,50	5,8		

Niveaux de bruit prévus dans la Recommandation UIT-R P.372

TABLEAU 41

Daman Mus	Niveau	Écart type		
rarametre	(dBµA/m)	(dB)		
400 kHz				
Bruit en zone urbaine	-18,47	5,6		
Bruit en zone résidentielle	-23,97	9,5		
1 650 kHz				
Bruit en zone urbaine	-26,7	6,4		
Bruit en zone résidentielle	-32,86	5,5		
2 000 kHz				
Bruit en zone urbaine	-27,28	6,4		
Bruit en zone résidentielle	-33,84	5,5		

Niveaux de bruit provenant de mesures effectuées aux Pays-Bas (MN)

Seule la variation du bruit en fonction du lieu (distribution spatiale) est analysée. Toutefois, comme l'indique clairement la Recommandation UIT-R P.372, le bruit varie aussi dans le temps et ce type de variation peut être encore plus importante (voir le Tableau 42).

TABLEAU 42

Valeurs des écarts des déciles du bruit artificiel, d'après la Recommandation UIT-R P.372

Catégorie	Décile	Variation dans le temps (dB)	Variation selon le lieu (dB)
Villes	Supérieur	11,0	8,4
	Inférieur	6,7	8,4
Zones	Supérieur	10,6	5,8
résidentielles	Inférieur	5,3	5,8
Zones	Supérieur	9,2	6,8
rurales	Inférieur	4,6	6,8

10.2.1.3.4 Affaiblissement dû à la discrimination

L'alignement de l'antenne des récepteurs du service de radiocommunication sur le champ produit par le chargeur TESF n'est pas fixe. Un affaiblissement de discrimination aléatoire est créé en produisant tout d'abord un angle non concordant aléatoire, θ , que l'on répartit uniformément de 0 à 360 degrés. On obtient alors l'affaiblissement dû à la discrimination, exprimé en dB, avec la formule suivante:

Affaiblissement de discrimination = min $(-10 \log_{10}(\cos^2 \theta), 35)$

L'affaiblissement est plafonné à 35 dB à l'axe de visée pour tenir compte des imperfections dans la conception de l'antenne et de la bobine.

10.2.2 Méthodologie

Il est procédé à une simulation de Monte Carlo pour analyser l'incidence statistique d'un chargement TESF dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz, et 2 000-2 170 kHz. La situation des brouillages est surtout dominée dans ces bandes par un bruit artificiel que l'on caractérise par une valeur moyenne et un écart-type (distribution spatiale). Tout service de radiocommunication

fonctionnant dans ces bandes sera exposé à ce niveau de bruit artificiel. Étant donné son caractère statistique, l'analyse a été menée de façon à examiner la différence avec et sans dispositifs TESF sur la médiane.

Le montage de la simulation est le suivant:

- Placer un seul récepteur de service de radiocommunication au centre de la simulation.
- Boucle à 10 000 événements:
 - Environ 700 dispositifs TESF agissant comme sources brouilleuses sont dispersés aléatoirement dans une zone (NOTE 1).
 - Un niveau de rayonnement est attribué à chaque dispositif TESF (en variant aléatoirement de l'alignement le plus favorable au plus défavorable).
 - Attribuer un niveau de bruit correspondant à la distribution du bruit artificiel par rapport au récepteur de services de radiocommunication.
 - Attribuer une fréquence de fonctionnement aléatoire à chaque dispositif TESF.
 - Calculer le niveau (la somme) des brouillages subis de la part de tous les dispositifs TESF exploités dans le même canal (soit l'affaiblissement de la propagation, la discrimination de la polarisation) (Note 2).
 - Stocker le bruit + le niveau de brouillage.
- Créer une fonction FDC des niveaux de bruit et des niveaux de bruit + brouillage.
- Calculer l'augmentation des niveaux de bruit médians.

NOTE 1 – La zone de simulation doit être assez vaste pour que des échantillons statistiques suffisants (niveaux de puissance et configurations spatiales) figurent dans la simulation.

NOTE 2 – Les niveaux de champs sont additionnés et non les niveaux de puissance.

La Figure 63 indique la disposition d'une seule configuration instantanée de simulation présentant une densité de TESF de 500 dispositifs par km².

FIGURE 63

Disposition illustrative de la simulation



10.2.2.1 Résultats

10.2.2.1.1 Interprétation des résultats

Certains lieux présentent un environnement bruyant pour les services de radiocommunication fonctionnant dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 606,5-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz. En dehors de la bande des ondes décimétriques ou des bandes supérieures, le bruit peut être dominé par des bruits artificiels extérieurs au récepteur au lieu de bruits thermiques ou naturels.

La Figure 64 montre les environnements de bruit actuels de récepteurs de services de radiocommunication dans les bandes de fréquences analysées. Les deux sources concernant les niveaux de bruit, la Recommandation UIT-R P.372 et les mesures du bruit artificiel effectuées aux Pays-Bas, sont indiquées en fonction des niveaux médians et des écarts types associés.



FIGURE 64

La réception d'un service de radiocommunication dans ces bandes est fortement tributaire du fait que le récepteur se trouve à un endroit proche du côté gauche des courbes, en raison d'un déplacement du récepteur dans l'espace et/ou, dans certains cas, de la fréquence.

À titre d'exemple, certains récepteurs du service mobile appliquent un système de saut de fréquence, consistant en ce qu'une différence de niveau de bruit permet une connexion plus fiable.

10.2.2.1.2 Résultats pour 400 kHz

TABLEAU 43

Augmentation du niveau de bruit (dispositif TESF à la fréquence de 400 kHz)

Environnement	Jour/Nuit	Densité (/km²)	Niveau de bruit	Augmentation du bruit médian (dB)
	Nuit	1.500	P.372	1,2
Ville (zone urbeine dense)	INUIT	1 300	MN	0,3
vine (zone urbanie dense)	Lour	275	P.372	0,3
	Jour	373	MN	0,1
Ville (zone urbaine)	Nuit	375	P.372	0,4
			MN	0,1
	Jour	94	P.372	0,1
			MN	0
Zone résidentielle Jour	NT:4	150	P.372	0,2
	Inult		MN	0,1
	т	20	P.372	0,1
	Jour	30	MN	0,0

10.2.2.1.3 Résultats pour 1 800 kHz

TABLEAU 44

Augmentation du niveau de bruit (dispositif TESF dans la bande de fréquences 1 750-1 800 kHz)

Environnement	Jour/Nuit	Densité (/km²)	Niveau de bruit	Augmentation du bruit médian (dB)
	Nuit	500	P.372	1,8
Ville (zone urbeine dense)	INUIL	500	MN	0,6
vine (zone urbaine dense)	Lour	167	P.372	0,8
	JOUI		MN	0,2
Ville (zone urbaine)	Nuit	125	P.372	0,6
			MN	0,2
	Jour	42	P.372	0,3
			MN	0,1
Zone résidentielle	Nuit	50	P.372	0,4
	INUIT		MN	0,2
	т	17	P.372	0,2
	Jour	1 /	MN	0,1

10.2.2.1.4 Résultats pour 2 000 kHz

TABLEAU 45

Augmentation du niveau de bruit (dispositif TESF à la fréquence de 2 000 kHz)

Environnement	Jour/Nuit	Densité (/km²)	Niveau de bruit	Augmentation du bruit médian (dB)
		500	P.372	2,1
Ville (zono urbeino donso)	INUIL	500	MN	0,7
vine (zone urbanie dense)	Lour	167	P.372	1
	Jour		MN	0,3
Ville (zone urbaine)	Nuit	125	P.372	0,8
			MN	0,2
	Jour	42	P.372	0,3
			MN	0,1
Zone résidentielle	NT '4	50	P.372	0,6
	INUIL		MN	0,2
	Jour	17	P.372	0,2
		1 /	MN	0,1

10.2.2.1.5 Résumé des résultats

L'étude montre que la densité de déploiement envisagée pour les dispositifs TESF dans la bande 315-405 kHz conduit, dans les zones urbaines très denses, à ce que le bruit augmente à 1,2 dB de plus que le niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372. En utilisant les mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas, l'augmentation du bruit médian est inférieure à 0,3 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), une augmentation du bruit médian égale ou inférieure à 0,4 dB a été constatée entre 1 700 et 1 800 kHz, ce qui a pour effet que le bruit augmente de 1,8 dB de plus que le niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372. En utilisant les mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas, l'augmentation du bruit médian égale ou inférieure à 0,6 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), une augmentation du bruit médian est inférieure à 0,6 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), une augmentation du bruit médian égale ou bruit médian est inférieure à 0,6 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), une augmentation du bruit médian égale ou inférieure à 0,6 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), une augmentation du bruit médian égale ou inférieure à 0,6 dB.

Entre 2 000 et 2 170 kHz, cela a pour effet une augmentation du bruit de 2,1 dB de plus que le niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372. En utilisant les mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas, l'augmentation du bruit médian est inférieure à 0,7 dB. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), l'augmentation du bruit médian constatée est inférieure ou égale à 0,8 dB.

Ces niveaux sont ceux des heures de pointe pour le chargement, pendant la nuit. En journée, l'augmentation médiane du bruit est inférieure.

L'environnement sonore effectif à moins de 10 m du dispositif TESF peut être plus ou moins bruyant que les niveaux de bruit artificiel retenus aux fins de l'étude. L'incidence effective de la TESF sur l'environnement sonore à des distances aussi proches des bâtiments ou à l'intérieur des bâtiments n'a pas être évaluée en raison du manque de sources sur les niveaux de bruit artificiel pour ces cas de figure.

11 Étude concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur le service de radionavigation maritime/le système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS) dans les fréquences inférieures à 325 kHz

11.1 Introduction

La bande de fréquences 315-325 kHz est attribuée au service de radionavigation maritime et utilisée pour les transmissions différentielles du système mondial de navigation par satellite (DGNSS). Des paramètres détaillés sont indiqués dans la Recommandation UIT-R M.823-3. La bande 315-405 kHz exploitée par les dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables présente un chevauchement avec la bande 315-325 kHz exploitée par le DGNSS dans les Régions 2 et 3. D'après les orientations du GT 5B, l'intensité minimale du signal utile pour le DGNSS (au bord de la zone de couverture) est comprise entre 40 et 100 μ V/m (pour de plus amples renseignements, se reporter au Tableau 46). Le DGNSS est aussi parfois utilisé sur les voies navigables intérieures (en Europe et au Canada) pour communiquer une information exacte sur la position. Dans la Région 1, il est utilisé en dessous de 315 kHz.

L'étude analyse donc seulement l'effet de la TESF au-dessus de 315 kHz. Cela signifie que seul le scénario de la haute mer est pris en compte.

Pour les besoins de l'étude, on a supposé que tous les dispositifs TESF utilisaient la même fréquence (315 kHz), tandis que, dans la réalité, on peut observer une assez grande dispersion des fréquences de chargement, selon la mise en œuvre effective, l'état du chargement, etc.

11.2 Paramètres employés dans la simulation

L'étude s'est intéressée à la valeur proposée de $-15 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ comme étant le rayonnement maximal pour les dispositifs TESF. Pour les besoins de l'étude, on a supposé que tous les dispositifs TESF utilisaient la même fréquence (315 kHz), tandis que, dans la réalité, on peut observer une assez grande dispersion des fréquences de chargement, selon la mise en œuvre effective, l'état du chargement, etc.

Les paramètres du DGNSS sont indiqués dans le Tableau 46.

TABLEAU 46

Paramètres du système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Paramètres	Valeur	Référence
Intensité min. du signal utile au bord de la zone de couverture (uV/m)	40/75/100 Entre 40 et 100 μV/m	Référence utilisée par les pays de la Région 3: <u>IALA information, Table of DGNSS stations,</u> <u>Édition 1.8 2021</u> (information de l'AISM, tableau des stations DGNSS, édition du 1er août 2021)
Rapport de protection, C/I (dB)	15, dans le même canal	Rec. UIT-R M.823-3, Tableau 5
Intensité max. admissible du signal brouilleur au bord de la zone de couverture (dBuV/m)	17,04/22,5/25	R3
Zone de couverture	Entre 50 et 500 km	Information de l'AISM, tableau des stations DGNSS, édition du 1er août 2021

Paramètres	Valeur	Référence
Intensité max. admissible du signal brouilleur au bord de la zone de couverture (dBuV/m)	18,89/11,02/17,04	R1/R2/R3
Disponibilité des signaux (navigation dans les eaux océaniques)	99,8%	<u>Résolution A.1046 (27) de l'OMI</u> <u>Appendice 2.5</u>

TABLEAU 46 (fin)

11.3 Scénarios et résultats

Compte tenu des scénarios d'utilisation des dispositifs TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables, trois scénarios ont été retenus pour cette étude de simulation. Le premier concerne un seul dispositif et revêt un caractère général, le deuxième porte sur un dispositif TESF à terre et le troisième simule un dispositif TESF à bord d'un navire.

11.3.1 Étude 1 (à un seul dispositif): étude concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables sur le système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Une étude d'impact a été réalisée en utilisant les paramètres indiqués au Tableau 46 et le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R SM.2028 a été appliqué.

TABLEAU 47

Paramètres du système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Paramètres	Valeur
Intensité min. du signal utile pour le DGNSS (μ V/m)	75 (valeur typique)
Intensité min. du signal utile pour le DGNSS (dBµV/m)	37,5
Rapport de protection (dB), dans le même canal	15
Valeur seuil du champ brouilleur (dBµV/m)	22,5
Modèle de propagation	Rec. UIT-R SM.2028
Fréquence utile pour le DGNSS	315 kHz

La Figure 65 indique la distance de séparation nécessaire par rapport à l'antenne de champ H du DGNSS pour les dispositifs TESF avec différents niveaux de rayonnement et différentes fréquences.



FIGURE 65

Distances de séparation pour divers niveaux de rayonnement TESF (champ H)

La Figure 66 indique la distance de séparation nécessaire par rapport à l'antenne de champ E du DGNSS pour les dispositifs TESF avec différents niveaux de rayonnement et différentes fréquences.



FIGURE 66 Distances de séparation pour divers niveaux de rayonnement TESF (champ E)

Il ressort de la comparaison de ces différents niveaux d'émission, d'après les Figs 65 et 66, montre que les distances de séparation constatées pour les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz sont inférieures à celles des troisièmes harmoniques des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz. Plusieurs millions d'appareils sont exploités dans la bande de fréquences inférieure et aucun cas de brouillage n'a été enregistré. Étant donné que les dispositifs TESF pour dispositifs portables et mobiles fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz ont une moindre incidence liée aux brouillages sur le DGNSS, il est encore moins probable que des brouillages se produisent.

Qui plus est, dans le cas d'une antenne de champ E, le brouillage se trouve sensiblement réduit.

Cette étude a présumé un couplage parfait entre les antennes, lequel nécessiterait un alignement parfait entre le dispositif TESF et l'antenne DGNSS.

11.3.2 Étude 2 concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz sur le système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Une étude d'impact a été réalisée en utilisant les paramètres indiqués au Tableau 47 et le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R SM.2028 a été appliqué.

Lorsqu'un dispositif TESF est proche du récepteur du DGNSS, la distance de protection r peut se situer dans le champ proche; elle peut alors être calculée à l'aide de l'équation suivante, donnée en (13) à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SM.2028:

$$r = \sqrt[3]{\frac{m}{2\pi H_{limit}}}$$

m est décrit dans les équations (1) et (2) de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SM.2028, et la limite de l'intensité du champ magnétique H_{limit} (A/m) peut être obtenue à partir de l'équation (8). *m* a été choisi comme étant le maximum de m1 et m2. On suppose que l'antenne utilisée pour le DGNSS est une antenne-cadre sensible au champ magnétique et que la conversion du champ E au champ H E/H = 51,5 dB sans tenir compte des autres facteurs de conversion en raison de la longue distance entre l'émetteur et le récepteur du DGNSS. La TESF est généralement exploitée dans une largeur de bande très étroite, inférieure à celle du DGNSS, de sorte que le rapport des largeurs de bande est de 0. Dans le calcul, il n'est pas tenu compte d'éléments modérateurs qui réduiraient l'incidence sur le récepteur.

Les résultats du Tableau 48 indiquent que, pour un seul dispositif TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables, la distance de protection pour le DGNSS est de 21 m, à savoir que les dispositifs TESF doivent être éloignés de 21 m du récepteur DGNSS.

Des modèles de propagation différents peuvent produire des résultats différents; la distance de brouillage effective peut être réduite en raison d'autres facteurs. Des essais sur le terrain peuvent apporter des renseignements complémentaires pour ce scénario de brouillage.

TABLEAU 48

Paramètres du système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Paramètres	Valeur
Intensité min. du signal utile pour le DGNSS (μ V/m)	75 (valeur typique)
Intensité min. du signal utile pour le DGNSS (dBµV/m)	37,5
Rapport de protection (dB), dans le même canal	15
Valeur seuil du champ brouilleur (dBµV/m)	22,5
Rayonnement TESF max. (dBµA/m à 10 m)	-15
Modèle de propagation	Rec. UIT-R SM.2028
Distance de protection pour un seul dispositif TESF (m)	21

11.3.3 Étude 1 (à plusieurs dispositifs): scénario avec dispositifs se trouvant sur la côte

L'intensité du signal transmis par les stations de radiobalises diminue progressivement avec la distance par rapport à la côte. Les niveaux d'intensité du signal dans la zone de couverture sont indiqués par les pays dans l'information publiée par l'AISM⁸ concernant les stations DGNSS. Le récepteur brouillé est installé sur le navire. Le navire, situé au bord de la zone de couverture, représente le cas le plus défavorable dans cette étude. Le scénario est décrit à la Fig. 67.



La Figure 68 illustre la distribution du champ électrique provenant d'un seul dispositif TESF. L'intensité du signal parvenant de celui-ci au navire correspond à la zone de couverture. Le modèle de propagation utilisé est fondé sur la Recommandation UIT-R SM.2028.

FIGURE 68



Intensité du signal TESF Distance (km) (dBuV/m) – Ed 70 -118,59 80 -119,75 185 -127,04 220 -128.54225 -128,74 300 -133,28 370 -136,92 400 -138,28 500 -142,16

Pour le scénario à un seul dispositif et le scénario à plusieurs dispositifs, la simulation du bilan de liaison du système a été menée en se fondant sur des hypothèses prudentes. Les stations DGNSS de la Chine, de la Corée (République de), de l'Inde, de la Malaisie, du Vietnam, du Brésil et du Canada ont été prises en considération dans l'étude. Pour le scénario à un seul dispositif, la marge est supérieure à 140 dB. Pour le scénario à plusieurs dispositifs, comme il apparaît dans le Tableau 49, la simulation est achevée par le nombre de dispositifs TESF qui se trouvent groupés simultanément à la même fréquence et à la même phase et sont susceptibles de causer un brouillage préjudiciable au récepteur DGNSS. Par ailleurs, afin de tenir compte de la densité en dispositifs TESF en zone urbaine dense et en zone urbaine, elle détermine des superficies de distribution pour ces zones. Dans la réalité, les superficies de distribution établies pour la zone urbaine dense ou la zone urbaine de la simulation sont beaucoup plus vastes que la ville côtière correspondante. Cela signifie que les brouillages cumulatifs ne peuvent atteindre un niveau préjudiciable dans la pratique.

TABLEAU 49

Paramètres DGNSS	Chine	Inde	Viet Nam	Corée (République de)	Brésil	Canada
Intensité nominale du signal (uV/m)	75	100	100	100	20	75
Zone de couverture (km)	300	185	500	80	370	150
Rapport de protection (dB)	15	15	15	15	15	15
Niveau de brouillage maximal acceptable (dBuV/m)	22,50	25,00	25,00	25,00	11,02	22,5
Intensité du signal TESF dans la zone de couverture (dBuV/m)	-133,28	-127,04	-142,15	-119,75	-136,92	-125,22
Marge pour un seul dispositif TESF (dB)	155,78	152,04	167,15	144,75	147,94	147,72
Nombre de dispositifs TESF groupés (unités) pour atteindre la marge	61 526 366	39 994 475	227 771 824	17 278 260	24 947 671	24 325 471
Zone urbaine dense équivalente (km ²)	47 476	30 861	175 958	13 332	1 999 581	16 217
Zone urbaine équivalente (km ²)	189 902	12 3444	70 382	53 330	498 953	64 868
Superficie (km ²)/ville côtière	6 340 (Shanghai)	603 (Mumbai)	2 061 (Hô Chi Minh-Ville)	770 (Busan)	1 521 (São Palo)	115 (Vancouver)

Simulation du bilan de liaison du système DGNSS

Résultats pour les dispositifs TESF se trouvant sur la côte

Aucune des deux configurations de l'étude – à un seul ou à plusieurs dispositifs – ne cause de brouillage préjudiciable au système DGNSS maritime exploité dans les Régions 2 et 3. Dans la Région 1, les fréquences TESF et le DGNSS ne présentent aucun chevauchement.

Dans le scénario à un seul dispositif, on a prévu une marge minimale de 144 dB pour le DGNSS coréen et des marges plus importantes pour celui des autres pays.

Dans le scénario à plusieurs dispositifs, tous les dispositifs TESF sont présumés fonctionner à la même fréquence et à la même phase vectorielle (cas le plus défavorable). Dans la réalité, la fréquence de chargement varie et les phases vectorielles des dispositifs devraient être aléatoires. Les brouillages seraient alors moins prononcés dans les résultats. En outre, il n'a pas été appliqué de discrimination d'antenne. On estime que les superficies de distribution établies pour la zone urbaine dense ou la zone urbaine de la simulation seraient beaucoup plus vastes que la ville côtière dans la réalité, ce qui signifie que les brouillages cumulatifs ne peuvent en pratique atteindre un niveau préjudiciable.

11.3.4 Étude 2 (à plusieurs dispositifs): scénario pour des dispositifs TESF se trouvant à bord d'un navire

Ce scénario concerne principalement les dispositifs TESF à bord de navires, notamment de croisière. Les dispositifs TESF sont chargés à l'intérieur des cabines et sont répartis uniformément dans une surface carrée. Une modélisation EM a été utilisée pour la propagation en champ proche. La sommation vectorielle est appliquée pour évaluer les brouillages cumulatifs en recourant à la méthode de Monte Carlo.

Le nombre de dispositifs actifs est calculé comme indiqué dans le Tableau 50.

TABLEAU 50

Scénario	Pénétration des fréquences (%) ⁽¹⁾	Taux de méthode de chargement sans fil (%) ⁽²⁾	Période de chargement (%) ⁽³⁾	Facteur d'activité (%) pendant la période de chargement de pointe ⁽⁴⁾
Utilisation élevée de la technologie sans fil	30	60	25	4,5
Faible utilisation de la technologie sans fil	30	15	25	1,13

Facteur d'activité des dispositifs TESF

⁽¹⁾ La bande de fréquences 100-148,5 kHz domine actuellement l'utilisation des fréquences. On s'attend que la bande 315-400 kHz prenne une part du marché parallèlement à la bande100-148,5 kHz à l'avenir. Un taux de pénétration de 30% est attendu.

⁽²⁾ Le taux de pénétration du chargement sans fil devrait atteindre 34% en 2025.

- ⁽³⁾ La période de chargement est pratiquement égale à 8 heures. Le chargement en une fois est effectué en 2 heures.
- ⁽⁴⁾ La période de chargement principale est située entre 23 heures et 7 heures (soit une durée de 8 heures).

L'analyse est fondée sur le cas d'un grand navire de croisière. Le navire sélectionné est l'AIDA Nova (Fig. 69).

FIGURE 69 AIDA Nova (*https://en.wikipedia.org/wiki/AIDAnova*)



On a élaboré un modèle d'après l'agencement du navire (Figs 70 et 71).

FIGURE 70 Modèle géométrique du navire (partie 1)



86

FIGURE 71

Modèle géométrique du navire (partie 2)

Vue en trois dimensions – distribution des dispositifs TESF



Deux scénarios différents ont été étudiés, à un ou à deux dispositifs TESF par cabine.

Les navires de croisière sont constitués en grande partie de structures métalliques qui ont une incidence importante sur les champs magnétiques créés par les chargeurs TESF. Les mesures présentées dans le Tableau 51 indiquent que les niveaux d'incidence suivants peuvent se produire (cadre orange).

TABLEAU 51

Affaiblissement du champ due à divers matériaux (de construction)

Réf.	Élément	Espacement (mm)	Affaiblissement (dB)	Autres précisions
1	Porte en bois après la cabine	500	0	
2	Paroi en briques après la cabine, d'une épaisseur de 280 mm	300	0	
3	Panneau en bois reconstitué à double épaisseur (panneaux de particules) (50 mm)	500	0	
4	Panneau en acier,	475	2	Panneau de 100 mm situé derrière le générateur
_	600 x 1 000 mm	475	10	Panneau situé entre le
5		475	10	générateur et le récepteur
6	Panneau en aluminium,	500	11	Panneau horizontal
7	480 x 2 000 mm	500	15	Panneau vertical
8	Cellule GTEM, à travers la paroi	500	>34	Les portes doivent être complètement fermées

L'affaiblissement du champ dû aux structures métalliques entraîne une réduction du champ de plus de 10 dB. La valeur de l'affaiblissement est considérée comme une variable aléatoire, qui se situe entre 10 et 30 dB.

Les études ont été réalisées en tenant compte des types d'antennes DGNSS correspondants (de champ E et de champ H). Les Tableaux 52 et 53 résument les résultats d'ensemble. Les Tableaux 52 et 53 résument les résultats globaux.

TABLEAU 52

		Nombre de	bre de Densité en (probabilité d		trique global é de 99,8%)	Niveau de brouillage
Cabines	Surface (m x m)	dispositifs TESF par cabine	dispositifs TESF (/km²)	Facteur d'affaiblissement de 1,1%	Facteur d'affaiblissement de 4,5%	max. admissible (dBµV/m) (R1/R2/R3)
4 x 60 x 11	42 * 337	1	186 520	-13,83	-6,53	18,89/11,02/ 17,04
4 x 60 x 11	42 * 337	2	373 039	-11,23	-2,08	18,89/11,02/ 17,04

Résumé des résultats obtenus pour les dispositifs TESF à bord du navire – Antenne DGNSS de champ H (en utilisant un facteur E/H constant)

TABLEAU 53

Résumé des résultats obtenus pour les dispositifs TESF à bord du navire – Antenne DGNSS de champ E (en utilisant un facteur E/H variant en fonction de la distance)

	~ •	Nombre de	e Densité en (probabilité de 99,8%)		rique global é de 99,8%)	Niveau de brouillage
Cabines	Surface (m x m)	dispositifs TESF par cabine	dispositifs TESF (/km²)	Facteur d'affaiblissement de 1,1%	Facteur d'affaiblissement de 4,5%	max. admissible (dBµV/m) (R1/R2/R3)
4 x 60 x 11	42 * 337	1	186 520	-27,65	-17,96	18,89/11,02/ 17,04
4 x 60 x 11	42 * 337	2	373 039	-23,61	-12,93	18,89/11,02/ 17,04

Résultats pour les dispositifs TESF à bord du navire

À l'issue de la simulation, on constate que les dispositifs TESF à bord du navire ne causent pas de brouillages préjudiciables au récepteur DGNSS maritime à bord du navire. Au regard du brouillage maximal admissible, on conserve une marge de plus de 13 dB dans toutes les régions et tous les cas de figure.

Il n'est pas tenu compte d'autres facteurs d'affaiblissement propres à atténuer le champ, tels l'incidence de la structure métallique de base du navire, qui peut atténuer celui-ci jusqu'à 40 dB, et le diagramme d'antenne du récepteur DGNSS. Les niveaux TESF les plus élevés seront inférieurs au niveau l'antenne DGNSS tandis que le signal utile arrivera horizontalement.

11.4 Utilisation du DGNSS pour l'entrée et la sortie des ports

Un dernier cas d'utilisation du DGNSS qui n'a pas été expressément étudié concerne le fait d'améliorer la précision lorsque les navires entrent dans les ports ou en sortent. Les emplacements des stations DGNSS les plus proches ont été vérifiés pour les plus grands ports des pays étudiés indiqués plus haut. Dans tous les cas, il existait des stations DGNSS à proximité directe de ces ports, et celles-ci présentaient un niveau d'intensité de champ bien supérieur au niveau minimum.

11.5 Résumé des résultats

La simulation a montré que le champ électrique des dispositifs TESF pour appareils mobiles et portables n'a pas d'incidence sur la réception du DGNSS.

Pour le scénario dans lequel les dispositifs TESF sont situés sur la côte, le nombre de dispositifs TESF groupés est calculé de façon à pouvoir comparer les brouillages cumulatifs au niveau de brouillage admissible. Le nombre de dispositifs TESF ainsi obtenu, pour différentes villes côtières, est nettement plus élevé que celui auquel on s'attend dans la réalité.

Pour le scénario dans lequel les dispositifs TESF se trouvent à bord d'un navire, on dispose d'une marge d'au moins 13 dB pour les brouillages cumulatifs dans toutes les régions. En outre, l'étude ne tient pas compte des affaiblissements supplémentaires dus à la conception et au choix des matériaux pour la structure du navire. La discrimination d'antenne du DGNSS n'est pas non plus appliquée; cela réduirait encore davantage le niveau des brouillages cumulatifs.

Pour le scénario relatif à l'utilisation du DGNSS pour l'entrée et la sortie des ports, l'emplacement de l'émetteur DGNSS est choisi de manière à offrir une marge appréciable pour éviter tout risque de brouillages dus à la TESF.

12 Service mobile maritime et GMDSS

Il est nécessaire de garantir la protection du service mobile maritime pour les services liés à la sécurité de la vie humaine visés dans l'Appendice **15** du RR, en particulier les services fonctionnant à 490 kHz, 518 kHz et 2 187,5 kHz. Les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz ne chevauchent pas ces bandes de fréquences et ne comportent donc pas d'harmoniques irrégulières retombant dans celles-ci.

13 Service SFTS dans la bande de fréquences 3 995-4 005 kHz dans la Région 3

La question n'a fait l'objet d'aucune étude. Une solution potentielle consiste à limiter la TESF aux fréquences supérieures à 2 005 kHz et à éviter qu'une éventuelle deuxième harmonique ne tombe dans la bande 3 995-4 005 kHz utilisée par le service SFTS.

14 Étude concernant les incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables dans la bande de fréquences 1 700-1 800 kHz sur les systèmes de service de radiolocalisation

La question n'a fait l'objet d'aucune étude.

15 Comparaison de l'incidence du chargement par TESF entre les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz

Deux éléments entrent ici en ligne de compte: d'une part, la différence de «fréquence» des harmoniques, et d'autre part, la différence des niveaux effectifs de rayonnement.

La Figure 72 compare des exemples de dispositifs TESF, l'un fonctionnant à 100 kHz, l'autre fonctionnant à 350 kHz et créant des harmoniques impaires. Le dispositif TESF fonctionnant à 100 kHz compte 14 harmoniques en dessous de 3 MHz, tandis que le dispositif TESF fonctionnant à 375 kHz ne comporte que trois harmoniques. En l'espèce, il est quatre à cinq fois plus probable qu'un service de radiocommunication subisse un brouillage lorsque le dispositif TESF fonctionne dans la bande inférieure.



La limite du rayonnement fondamentale des dispositifs TESF dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz peut atteindre 37,7-42 dB μ A/m, tandis que le rayonnement des dispositifs TESF dans la bande de fréquences 315-405 kHz ne dépassera pas –15 dB μ A/m (à une distance de 10 m).

Dans la réalité, les dispositifs TESF pour le chargement des dispositifs portables et mobiles peuvent ne pas atteindre les niveaux indiqués par la Fig. 72 ci-dessus. Le niveau peut toutefois être très important. Comme on le montre au § 6.3.7, les niveaux effectifs de certains chargeurs fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz dépassent $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ à la troisième harmonique.

Ces niveaux sont conformes à la réglementation de beaucoup de pays mais présentent des harmoniques nettement plus élevées que celles provenant d'un chargeur TESF fonctionnant avec une limite fondamentale de $-15 \text{ dB}\mu\text{A/m}$.

Les chargeurs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz présentent un risque nettement plus faible pour les services de radiocommunication. Dans l'ensemble, l'apparition d'harmoniques est beaucoup moins fréquente. Mais surtout, le rayonnement étant moindre au niveau de la fondamentale, leurs harmoniques sont aussi nettement plus faibles.

16 Conclusion

Nous avons modélisé et mesuré des rayonnements pour analyser les incidences de dispositifs TESF destinés à des dispositifs mobiles et portables sur certains services de radiocommunication. Nous avons analysé dans notre Rapport les incidences des brouillages sur la radiodiffusion MA, sur la radioamateur et sur la radionavigation aéronautique (ADF/NDB), ainsi qu'une étude indépendante des services analysant les effets de la TESF sur le bruit artificiel.

16.1 Radiodiffusion MA dans la bande de fréquences 525-1 700 kHz

Pour les dispositifs TESF destinés au chargement des dispositifs mobiles et portables, la distance de séparation avec les récepteurs de services de radiocommunication doit être suffisamment importante pour ne pas occasionner de brouillages.

Pour la radiodiffusion MA et les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz, l'une des études a montré que la distance de séparation nécessaire était de 2,3 m, tandis que l'autre a indiqué que la distance de séparation nécessaire pouvait être beaucoup plus grande.

Pour la radiodiffusion MA et les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz, l'une des études a montré que la distance de séparation nécessaire était de 1,5 m dans la plupart des cas lorsque la fréquence de fonctionnement du dispositif TESF est fixée à 360 kHz et que le niveau d'émission de la fréquence fondamentale est compris entre –25 et –35 dBµA/m à 10 m (–15 dBµA/m dans la norme ETSI EN 300 330), soit nettement moins que dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz. L'étude comprend l'analyse de sensibilité pour les différentes orientations des dispositifs TESF et des récepteurs de radiodiffusion MA. Dans l'une des mesures, il est apparu que pour un chargeur, une distance de séparation de 2,3 m était nécessaire, ce qui montre que la distance de séparation augmente en raison du décalage de fréquence de 500 Hz entre l'harmonique et le centre du canal de radiodiffusion MA. Dans le scénario le plus défavorable, le décalage de fréquence par rapport au centre du canal est de 1,6 kHz. D'autres calculs montrent que lorsque le décalage de fréquence est de 1,6 kHz au lieu de 500 Hz, la distance de protection passe à 2,7 m. Néanmoins, des mesures supplémentaires pourraient être nécessaires pour vérifier ces calculs afin d'éviter d'éventuels brouillages préjudiciables aux systèmes de radiodiffusion MA sont la TESF serait à l'origine.

La radiodiffusion MA est nettement moins perturbée par les dispositifs TESF fonctionnant dans la bande 315-405 kHz que dans la bande 100-148,5 kHz. Il est conseillé aux Administrations de vérifier que la situation est satisfaisante conformément à leurs exigences nationales.

16.2 Service radioamateur dans la bande de fréquences 135,7-137,8 kHz

Les dispositifs TESF destinés à recharger des dispositifs mobiles et portables fonctionnent dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz et doivent respecter une certaine distance de séparation par rapport aux récepteurs du service de radiocommunication pour éviter les brouillages. S'agissant du service de radioamateur, la distance de séparation se situait entre 15,3 m et 40,8 m selon le scénario. Il est cependant possible que plusieurs dispositifs TESF se situent à portée d'un seul récepteur étant donné que les distances de protection sont importantes dans le cas d'une zone urbaine.

16.3 Radionavigation aéronautique et dispositifs TESF dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz

Les études concernant la radionavigation aéronautique (ADF/NDB) ont montré que les distances de séparation requises étaient très inférieures aux altitudes minimales de sécurité imposées aux aéronefs.

16.4 Analyses génériques concernant les incidences de dispositifs TESF sur les services de radiocommunication (par exemple, le service fixe ou le service mobile) dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz

16.4.1 Étude de Monte Carlo pour plusieurs dispositifs

Dans l'étude de Monte Carlo, on a analysé la quantité de brouillages présente dans la largeur de bande d'un récepteur en la comparant à un niveau de bruit artificiel. L'étude montre que la densité de déploiement envisagée pour les dispositifs TESF dans toutes les bandes de fréquences (315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz) conduit, uniquement dans les zones urbaines très denses, à une augmentation du bruit supérieure au niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372,

comprise entre 1,2 et 2,1 dB selon la fréquence. En utilisant les mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas, l'augmentation du bruit médian est inférieure à 0,3 dB et à 0,7 dB, respectivement, pour les trois bandes de fréquences. Pour tous les autres environnements (zone urbaine et zone résidentielle), l'augmentation du bruit médian est inférieure à 0,4 dB, 0,6 dB ou 0,8 dB, selon la fréquence.

Ces niveaux sont ceux des heures de pointe pour le chargement, généralement la nuit. En journée, l'augmentation médiane du bruit est inférieure.

L'environnement sonore effectif à moins de 10 m du dispositif TESF peut être plus ou moins bruyant que les niveaux de bruit artificiel retenus aux fins de l'étude. L'incidence effective de la TESF sur l'environnement sonore à des distances aussi proches des bâtiments ou à l'intérieur des bâtiments n'a pas être évaluée en raison du manque de renseignements sur les niveaux de bruit artificiel pour ces cas de figure.

16.4.2 Étude de Monte Carlo à un seul dispositif

Dans cette étude, on a comparé le niveau médian des brouillages à un niveau médian de bruit artificiel, et déterminé le point en deçà duquel les brouillages dépassent le niveau de bruit artificiel. L'étude montre que lorsqu'on modélise l'alignement variable du chargeur TESF par rapport aux bobines du récepteur (avec un rayonnement variant du plus favorable au plus défavorable), les distances auxquelles le rayonnement du chargeur TESF devient inférieur au niveau médian de bruit artificiel, selon la gamme de fréquences, sont les suivantes:

- Dans les villes, entre 11 et 14 m, par rapport au niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372, et entre 7 et 9 m, par rapport au niveau provenant des mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas.
- Dans les zones résidentielles, entre 15 et 18 m, par rapport au niveau médian prévu dans la Recommandation UIT-R P.372, et entre 9 et 13 m, par rapport au niveau provenant des mesures effectives du bruit radioélectrique réalisées aux Pays-Bas.

Cette étude à un seul dispositif correspond à une analyse du scénario le plus défavorable, étant donné qu'elle se fonde sur l'hypothèse que le rayonnement TESF est toujours émis dans le même canal que le récepteur de services de radiocommunication et que l'antenne du récepteur présente un alignement parfait avec le champ créé par le dispositif TESF.

L'environnement sonore effectif à moins de 10 m du dispositif TESF peut être plus ou moins bruyant que les niveaux de bruit artificiel retenus aux fins de l'étude. L'incidence effective de la TESF sur l'environnement sonore à des distances aussi proches des bâtiments ou à l'intérieur des bâtiments n'a pas être évaluée en raison du manque de renseignements sur les niveaux de bruit artificiel pour ces cas de figure.

16.5 Incidences de la TESF par induction n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables dans les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz sur la radionavigation maritime/le système mondial différentiel de navigation par satellite (DGNSS)

Il ressort de la première étude à un seul dispositif que, pour un seul dispositif TESF n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables, la distance de protection pour le DGNSS peut atteindre entre 47 et 51 m pour la troisième harmonique des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz à la limite du rayonnement non désiré et 17 m pour le rayonnement fondamental des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz à la limite de la fondamentale.

Elle indique aussi une distance comprise entre 7 et 17 m pour la troisième harmonique des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz et entre 8 et 11 m pour le rayonnement fondamental des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz aux niveaux effectifs de rayonnement mesuré. Les dispositifs TESF pour les dispositifs portables et mobiles fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz ont une incidence de brouillage plus faible sur le DGNSS que les harmoniques des dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz.

La deuxième étude à un seul dispositif indique que pour un seul dispositif TESF n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables, la distance de protection pour le DGNSS est de 21 m compte non tenu des éléments modérateurs, à savoir que les dispositifs TESF doivent être éloignés de 21 m du récepteur DGNSS.

Il convient pour les Administrations de tenir compte des distances de séparation pour planifier l'utilisation des bandes 100-148,5 kHz et 315-405 kHz pour la TESF, en particulier pour éviter les brouillages causés aux récepteurs DGNSS par la TESF à terre et à bord.

La première étude à plusieurs dispositifs a montré que les dispositifs TESF à terre n'avaient pas d'incidence sur la réception du DGNSS à bord d'un navire.

La deuxième étude à plusieurs dispositifs a montré qu'à bord d'un grand navire de croisière, le champ H et le champ E de dispositifs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-325 kHz n'avaient pas d'incidence sur la réception du DGNSS.

16.6 Service mobile maritime et GMDSS

La protection du service mobile maritime est garantie pour les services liés à la sécurité de la vie humaine visés dans l'Appendice **15** du RR. Il s'agit en particulier des services fonctionnant à 490 kHz, 518 kHz et 2 187,5 kHz. Les dispositifs TESF fonctionnant dans les bandes de fréquences 315-405 kHz, 1 700-1 800 kHz et 2 000-2 170 kHz ne chevauchent pas ces bandes de fréquences, ni ne comportent pas d'harmoniques irrégulières retombant dans celles-ci.

16.7 Comparaison de l'incidence du chargement par TESF entre les bandes de fréquences 100-148,5 kHz et 315-405 kHz

Les chargeurs TESF fonctionnant dans la bande de fréquences 315-405 kHz présentent un risque plus faible pour les services de radiocommunication que ceux qui fonctionnent dans la bande de fréquences 100-148,5 kHz. Globalement, il présentent moins d'harmoniques. Mais surtout, le rayonnement étant moindre au niveau de la fondamentale, le rayonnement des harmoniques est également nettement plus faible.

Annexe 1

Références

Document et numéro de l'UIT-R	Titre du document de l'UIT-R			
Accord GE75 sur le Plan régional				
Recommandation UIT-R P.368-7	Courbes de propagation de l'onde de sol entre 10 kHz et 30 MHz			
Recommandation UIT-R P.372	Bruit radioélectrique			
Recommandation UIT-R BS.468	Mesure du niveau de tension des bruits audiofréquence en radiodiffusion sonore			
Recommandation UIT-R BS.498	Transmodulation ionosphérique en radiodiffusion en ondes kilométriques (B.km) et hectométriques (B.hm)			
Recommandation UIT-R P.532	Effets ionosphériques et problèmes d'exploitation liés à la modification artificielle de l'ionosphère et du canal radioélectrique			
Recommandation UIT-R BS.559	Mesure objective des rapports de protection RF en radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)			
Recommandation UIT-R BS.560	Rapports de protection en radiofréquence pour la radiodiffusion en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques			
Recommandation UIT-R BS.561	Définitions du rayonnement en radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)			
Recommandation UIT-R M.589	Caractéristiques techniques des méthodes de transmission de données et de protection contre les brouillages pour les services de radionavigation fonctionnant dans les bandes de fréquences comprises entre 70 et 130 kHz			
Recommandation UIT-R BS.638	Termes et définitions utilisés dans la planification des fréquences pour la radiodiffusion sonore et télévisuelle			
Recommandation UIT-R BS.639	Largeur de bande nécessaire à l'émission pour la radiodiffusion à ondes kilométriques, hectométriques et décamétrique			
Recommandation UIT-R BS.703	Caractéristiques de récepteurs de référence de radiodiffusion sonore à modulation d'amplitude à des fins de planification			
Recommandation UIT-R M.823	Caractéristiques techniques de la transmission de données en mode différentiel pour les systèmes mondiaux de navigation par satellite à partir de radiophares maritimes dans les bandes de fréquences 283,5-315 kHz (Région 1) et 285-325 kHz (Régions 2 et 3)			
Recommandation UIT-R SM.1056	Limitation des rayonnements provenant des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM)			
Recommandation UIT-R P.1147	Prévision du champ de l'onde ionosphérique pour les fréquences comprises entre 150 et 1 700 kHz environ			
Recommandation UIT-R P.1321	Facteurs de propagation qui influent sur les systèmes utilisant des techniques de modulation numérique dans les bandes d'ondes kilométriques et hectométriques			
Recommandation UIT-R BS.1348	Cahier des charges du service de radiodiffusion sonore numérique aux fréquences inférieures à 30 MHz			
Recommandation UIT-R BS.1386	Caractéristiques et diagrammes de rayonnement des antennes d'émission en ondes kilométriques ou hectométriques			
Recommandation UIT-R BS.1387	Méthode de mesure objective de la qualité du son perçu			
Recommandation UIT-R BS.1514	Système pour la radiodiffusion sonore numérique dans les bandes attribuées à la radiodiffusion au-dessous de 30 MHz			

Г

Document et numéro de l'UIT-R	Titre du document de l'UIT-R
Recommandation UIT-R M.1732-2	Caractéristiques de systèmes exploités dans les services d'amateur et d'amateur par satellite à utiliser pour les études de partage
Recommandation UIT-R BS.1895	Critères de protection applicables aux systèmes de radiodiffusion de Terre
Recommandation UIT-R SM.1896	Gammes de fréquences pour une harmonisation mondiale ou régionale des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Recommandation UIT-R SM.2028	Calcul des distances de protection entre systèmes inductifs et services de radiocommunication utilisant les fréquences au-dessous de 30 MHz
Recommandation UIT-R SM.2103	Harmonisation à l'échelle mondiale des catégories de dispositifs de radiocommunication à courte portée
Recommandation UIT-R P.2109	Prévision de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments
Recommandation UIT-R SM.2110	Orientations relatives aux gammes de fréquences pour l'exploitation des systèmes de transmission d'énergie sans fil n'utilisant pas de faisceau pour les véhicules électriques
Recommandation UIT-R SM.2129	Orientations relatives aux gammes de fréquences pour l'exploitation des systèmes de transmission d'énergie sans fil n'utilisant pas de faisceau pour les dispositifs mobiles et portables
Rapport UIT-R BS.401	Antennes d'émission en radiodiffusion (B.km et B.hm)
Rapport UIT-R BS.458	Caractéristiques des systèmes de radiodiffusion (B.km, B.hm et B.dam)
Rapport UIT-R SM.2057	Études relatives à l'impact des dispositifs UWB sur les autres services de radiocommunications
Rapport UIT-R SM.2153	Paramètres techniques et de fonctionnement des dispositifs de radiocommunication à courte portée et fréquences utilisées
Rapport UIT-R SM.2154	Techniques de mesure de l'occupation du spectre par des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Rapport UIT-R SM.2179	Mesure des dispositifs de radiocommunication à courte portée
Rapport UIT-R SM.2180	Incidence des appareils industriels, scientifiques et médicaux (ISM) sur les services de radiocommunication
Rapport UIT-R SM.2210	Effets des émissions provenant des dispositifs à courte portée sur les services de radiocommunication
Rapport UIT-R SM.2303	Transmission d'énergie sans fil au moyen de techniques autres que la transmission par faisceau radiofréquence

Autres références

- [1] Measurement Methodology and Results of Measurements of Man-Made Noise Floor on HF in The Netherlands, T.W.H. Fockens, A.P.M. Zwamborn, F. Leverink, IEEE Transactions on EMC, Vol. 61, N° 2, avril 2019.
- [2] I. Landa, A. Arrinda, I. Eizmendi, M. M. Velez et I. Fernandez, «Man-made noise measurements in indoor locations in Medium Wave band», actes de la quatrième Conférence européenne sur les antennes et la propagation, Barcelone, 2010, p. 1-5.
- [3] K. Fockens et F. Leferink, «Correlation Between Measured Man-Made Noise Levels and the Density of Habitation», in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, doi: 10.1109/TEMC.2020.3001979.

- [4] M. Iwama, «Estimation of Background Noise in HF-Band», Colloque Asie-Pacifique 2008 sur la compatibilité électromagnétique et dix-neuvième Colloque international de Zurich sur la compatibilité électromagnétique, mai 2008, Singapour, p. 478-481.
- [5] Recommandation 70-03 de l'ERC: <u>https://docdb.cept.org/document/845</u>.
- [6] Recommandation 74-01 de l'ERC: <u>https://docdb.cept.org/document/1001</u>.
- [7] Rapport 69 de l'ERC: <u>https://docdb.cept.org/document/637</u>.
- [8] Rapport 67 de l'ECC: <u>https://docdb.cept.org/document/177</u>.

Annexe 2

Abréviations

Abréviation	Terme				
ADC	convertisseur analogique-numérique (analogue digital converter)				
ADF	radiogoniomètre automatique (automatic direction finder)				
BBC	British Broadcasting Corporation				
BW	largeur de bande (<i>bandwidth</i>)				
ETSI	Institut européen des normes de télécommunication (European telecommunications standards institute)				
FCC	Federal Communications Commission				
ISM	(appareils) industriels, scientifiques et médicaux (<i>industrial, scientific, and medical</i> (<i>applications</i>))				
LF	basse fréquence (low frequency)				
MA	modulation d'amplitude (amplitude modulation)				
NDB	radiophare non directionnel (non-directional beacon)				
RR	Règlement des radiocommunications (Radio Regulations)				
RT	rapport technique (technical report)				
SCN	bruit à une seule porteuse (single carrier noise)				
TESF	transmission d'énergie sans fil (wireless power transmission)				
WGN	bruit blanc gaussien (white gaussian noise)				

96

Annexe 3

Modèle de propagation pour le rayonnement des dispositifs TESF

L'affaiblissement de propagation est fondé sur le modèle de propagation utilisé conformément à la Recommandation UIT-R SM.2028 avec le type de sol 9. Il conjugue l'effet de couplage magnétique à proche distance (60 dB par décade) et l'affaiblissement en espace libre (20 dB par décade) dans le champ lointain. La transition entre le champ proche et le champ lointain est modélisée à 40 dB par décade. Après le champ lointain, une propagation de l'onde de sol est présumée. Le modèle a été programmé pour produire directement des valeurs exprimées en dB μ A/m. Il est réglé directement pour produire –15 dB μ A/m à 10 m.



