

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.1546-6
(08/2019)

**Méthode de prévision de la propagation
point à zone pour les services de Terre
entre 30 MHz et 4 000 MHz**

Série P
Propagation des ondes radioélectriques



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

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

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

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2020

© UIT 2020

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

RECOMMANDATION UIT-R P.1546-6

**Méthode de prévision de la propagation point à zone pour
les services de Terre entre 30 MHz et 4 000 MHz**

(2001-2003-2005-2007-2009-2013-2019)

Champ d'application

La présente Recommandation décrit une méthode de prévision de la propagation radioélectrique point à zone pour les services de Terre entre 30 MHz et 4 000 MHz, qui s'applique aux circuits radioélectriques troposphériques sur des trajets terrestres, des trajets maritimes et/ou des trajets mixtes terrestres-maritimes pour des distances allant jusqu'à 1 000 km et des hauteurs équivalentes de l'antenne émettrice inférieures à 3 000 m. La méthode est fondée sur une interpolation/extrapolation à partir des courbes de champ déterminées de façon empirique en fonction de la distance, de la hauteur d'antenne, de la fréquence et du pourcentage de temps. La méthode de calcul permet aussi de corriger les résultats obtenus à partir de cette interpolation/extrapolation afin de tenir compte du dégagement du terrain et des obstacles occultant le terminal.

Mots clés

Trajet longue distance-propagation générale, trajets/circuits troposphériques, courbes de champ, variabilité temporelle et variabilité en fonction de l'emplacement, prévisions de l'affaiblissement de transmission de référence

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est nécessaire de conseiller les ingénieurs chargés de la planification des services de radiocommunication de Terre dans les bandes des ondes métriques et décimétriques;
- b) qu'il est important de déterminer l'espacement géographique minimal entre stations fonctionnant sur les mêmes canaux ou des canaux adjacents, afin d'éviter des brouillages intolérables occasionnés par une propagation troposphérique à grande distance;
- c) que les courbes figurant dans les Annexes 2, 3 et 4 sont établies à partir d'une analyse statistique de données expérimentales,

notant

- a) que la Recommandation UIT-R P.528 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement de transmission de référence point à zone pour le service mobile aéronautique entre 125 MHz et 15,5 GHz pour des distances allant jusqu'à 1 800 km;
- b) que la Recommandation UIT-R P.452 fournit des indications sur l'évaluation détaillée des brouillages hyperfréquences entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,1 GHz environ;
- c) que la Recommandation UIT-R P.617 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement de transmission point à point pour les faisceaux hertziens transhorizon aux fréquences supérieures à 30 MHz, pour des distances comprises entre 100 et 1 000 km;
- d) que la Recommandation UIT-R P.1411 fournit des indications sur la prévision de la propagation pour les services de radiocommunication extérieurs à courte portée (jusqu'à 1 km);
- e) que la Recommandation UIT-R P.530 fournit des indications sur la prévision de l'affaiblissement de propagation point à point pour les systèmes hertziens de Terre à visibilité directe;

f) que la Recommandation UIT-R P.2001 fournit un modèle de large portée pour la propagation sur des trajets de Terre dans la gamme des fréquences comprises entre 30 MHz et 50 GHz, y compris les statistiques d'évanouissements et de renforcements,

recommande

d'utiliser les procédures données dans les Annexes 1 à 8 pour la prévision de la propagation point à zone du champ pour les services de radiodiffusion, mobile terrestre, mobile maritime et certains services fixes (par exemple, ceux qui utilisent des systèmes point à multipoint (P-MP)) entre 30 MHz et 4 000 MHz et pour des distances allant jusqu'à 1 000 km.

NOTE – Des trajets de propagation longue distance sont également possibles dans la bande d'ondes métriques via l'ionosphère. Les modes concernés sont présentés de manière succincte dans la Recommandation UIT-R P.844.

Annexe 1

Introduction

1 Courbes de propagation

Les courbes de propagation données dans les Annexes 2, 3 et 4 représentent les valeurs du champ correspondant à une puissance apparente rayonnée (p.a.r.) de 1 kW aux fréquences nominales de 100, 600 et 2 000 MHz respectivement en fonction des divers paramètres; certaines courbes concernent des trajets terrestres, d'autres des trajets maritimes. L'interpolation ou l'extrapolation des valeurs obtenues pour ces fréquences nominales doit être utilisée pour obtenir les valeurs du champ pour toute fréquence choisie en utilisant la méthode donnée au § 6 de l'Annexe 5.

Les courbes sont établies à partir de données de mesures concernant des conditions climatiques moyennes observées principalement dans des régions tempérées comprenant des mers froides et des mers chaudes, telles que la mer du Nord et la mer Méditerranée. Les courbes relatives à des trajets terrestres ont été établies à partir de mesures faites principalement sous des climats tempérés comme ceux d'Europe et d'Amérique du Nord. Les courbes relatives aux trajets maritimes ont été établies à partir de données obtenues principalement dans les régions méditerranéennes et la mer du Nord. Des études approfondies ont montré que les conditions de propagation sont sensiblement différentes dans certaines régions des mers chaudes sujettes à des phénomènes de superréfraction.

Toutefois, les méthodes d'interpolation et d'extrapolation entre les différentes familles de courbes du champ sont générales. Par conséquent, s'il existe des familles de courbes pour des régions de climats différents où les conditions de propagation des ondes radioélectriques diffèrent sensiblement, on peut, en utilisant les méthodes décrites dans la présente Recommandation, caractériser avec exactitude les conditions de propagation dans ces régions.

La présente Recommandation ne s'applique pas à une polarisation particulière.

2 Champs maximums

Les courbes présentent des limites supérieures relatives à la valeur possible du champ qui peut être obtenue en toutes conditions. Ces limites sont définies au § 2 de l'Annexe 5 et sont représentées en pointillé sur les courbes des Annexes 2, 3 et 4.

3 Tableaux pour applications informatiques

Bien que les champs puissent être lus directement sur les courbes dans les figures des Annexes 2, 3 et 4 de la présente Recommandation, il est convenu que les mises en œuvre informatiques de la méthode utiliseront les données relatives aux champs disponibles sous forme de tableaux auprès du Bureau des radiocommunications. Voir le site web de l'UIT-R (Commission d'études 3 des radiocommunications).

4 Méthode pas à pas

La procédure pas à pas détaillée à utiliser lors de l'application de la présente Recommandation est décrite dans l'Annexe 6.

5 Désignation des antennes

Dans la présente Recommandation, le terme «antenne émettrice/de base» recouvre à la fois le concept d'une antenne d'émission telle qu'elle est utilisée dans le service de radiodiffusion et le concept de l'antenne de la station de base telle qu'elle est utilisée dans les services mobiles de Terre. De même, le terme «antenne réceptrice/mobile» recouvre le concept d'une antenne de réception telle qu'elle est utilisée dans le service de radiodiffusion et une antenne mobile telle qu'elle est utilisée dans les services mobiles de Terre. De plus amples informations sur la désignation des terminaux sont données au § 1.1 de l'Annexe 5.

6 Hauteur de l'antenne émettrice/de base

La méthode tient compte de la hauteur apparente de l'antenne émettrice/de base, qui est la hauteur de l'antenne au-dessus de la hauteur du sol moyennée sur des distances comprises entre 3 km et 15 km dans la direction de l'antenne réceptrice/mobile. La hauteur, h_1 , de l'antenne émettrice/de base utilisée pour les calculs est obtenue en utilisant la méthode donnée au § 3 de l'Annexe 5.

7 Hauteurs de l'antenne émettrice/de base utilisées dans les courbes

Les courbes donnant le champ en fonction de la distance dans les Annexes 2, 3 et 4, et les tableaux associés, sont données pour les valeurs de h_1 de 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 et 1 200 m. Pour toute valeur de h_1 comprise entre 10 et 3 000 m, une interpolation ou une extrapolation des deux courbes appropriées sera nécessaire (voir le § 4.1 de l'Annexe 5). Pour des valeurs de h_1 inférieures à 10 m, l'extrapolation à appliquer est donnée au § 4.2 de l'Annexe 5. Il est possible que la valeur de h_1 soit négative, auquel cas la méthode donnée au § 4.3 de l'Annexe 5 sera utilisée.

8 Variabilité temporelle

Les courbes de propagation représentent les valeurs du champ dépassées pendant 50%, 10% et 1% du temps. Une méthode d'interpolation entre ces valeurs est donnée au § 7 de l'Annexe 5. La présente Recommandation n'est pas valable pour des champs dépassés pendant des pourcentages de temps en dehors de la fourchette 1% à 50%.

9 Méthode applicable aux trajets mixtes

Lorsque le trajet radioélectrique passe au-dessus du sol et de la mer, le champ pour un trajet mixte est évalué en utilisant la méthode donnée du § 8 de l'Annexe 5.

10 Hauteur de l'antenne réceptrice/mobile

Pour les trajets terrestres, les courbes donnent les valeurs du champ pour une hauteur h_2 (m) d'antenne réceptrice/mobile au-dessus du sol, égale soit à la hauteur représentative des obstacles au sol situés autour de l'antenne réceptrice/mobile, soit à 10 m, la valeur la plus élevée étant retenue. Pour des trajets au-dessus de la mer, les courbes donnent des valeurs du champ pour $h_2 = 10$ m. Pour pouvoir utiliser les valeurs de h_2 différentes de la hauteur donnée par une courbe, une correction doit être appliquée en fonction de l'environnement de l'antenne réceptrice/mobile. La méthode permettant de calculer cette correction est donnée au § 9 de l'Annexe 5.

11 Effet d'occultation de l'antenne émettrice/de base par un obstacle

Si l'antenne émettrice/de base est située au-dessus d'une partie terrestre sur laquelle se trouve un obstacle ou est adjacente à une telle partie terrestre, il convient d'appliquer la correction donnée au § 10 de l'Annexe 5, quelle que soit la hauteur de l'antenne émettrice/de base au-dessus du sol.

12 Correction sur la base de l'angle de dégagement du terrain

Pour les trajets terrestres, on peut obtenir une meilleure précision de la prévision des champs en tenant compte du relief autour de l'antenne réceptrice/mobile, le cas échéant, en utilisant un angle de dégagement du terrain. Lorsqu'un calcul est fait pour un trajet mixte, cette correction doit être incluse si l'antenne réceptrice/mobile est adjacente à une section terrestre du trajet. De plus amples informations sur la correction sur la base de l'angle de dégagement du terrain sont données au § 11 de l'Annexe 5.

13 Variabilité en fonction de l'emplacement

Les courbes de propagation représentent les valeurs de champ dépassées en 50% des emplacements dans une zone. Pour de plus amples informations sur la variabilité en fonction de l'emplacement et la méthode de calcul de la correction requise pour les pourcentages d'emplacement autres que 50%, on se reportera au § 12 de l'Annexe 5.

14 Correction fondée sur la diffusion troposphérique

Le § 13 de l'Annexe 5 décrit une méthode prenant en compte la diffusion troposphérique à utiliser si on dispose de données topographiques. En principe, les courbes devraient tenir compte de l'effet des signaux importants de diffusion troposphérique, mais il n'est pas certain que des mesures suffisantes aient été réalisées sur de longues distances afin de pouvoir prendre en compte ces effets. La correction du § 13 de l'Annexe 5 vise à réduire le risque d'une importante sous-estimation du champ liée au fait que les courbes ne prennent pas convenablement en compte les effets de la diffusion troposphérique.

15 Correction tenant compte de la différence de hauteur des antennes

Le § 14 de l'Annexe 5 donne une correction permettant de tenir compte de la différence entre les hauteurs des deux antennes au-dessus du sol.

16 Distances horizontales inférieures à 1 km

Les courbes de champ couvrent des distances horizontales comprises entre 1 km et 1 000 km. Le § 15 de l'Annexe 5 décrit la méthode à utiliser pour les distances horizontales inférieures à 1 km.

17 Affaiblissement de transmission de référence équivalent

Le § 17 de l'Annexe 5 décrit une méthode permettant de convertir un champ correspondant à une p.a.r. de 1 kW en affaiblissement de transmission de référence équivalent.

18 Variabilité de l'indice de réfraction atmosphérique

On sait que la valeur médiane du champ et sa variation dans le temps dépendent de la région climatique considérée. Les courbes de champ des Annexes 2, 3 et 4 sont valables pour des climats tempérés. On trouvera dans l'Annexe 7 une méthode permettant d'adapter ces courbes aux différentes régions du monde. Elle est fondée sur les valeurs de gradient vertical du coïndice dans l'atmosphère tirées de la Recommandation UIT-R P.453.

19 Compatibilité avec la méthode Okumura-Hata

L'Annexe 8 contient les équations Hata de prévision des champs pour les services mobiles dans un environnement urbain et une description des conditions sous lesquelles la présente Recommandation donne des résultats compatibles.

Annexe 2

Fréquences comprises entre 30 MHz et 300 MHz

1 Les courbes de champ en fonction de la distance sont données dans la présente Annexe pour une fréquence de 100 MHz. Elles peuvent être utilisées pour des fréquences comprises entre 30 MHz et 300 MHz, mais la procédure donnée au § 6 de l'Annexe 5 doit être utilisée afin d'en améliorer l'exactitude. La même procédure doit être utilisée lorsque les valeurs de champ en fonction de la distance figurant dans les tableaux (voir le § 3 de l'Annexe 1) sont utilisées.

2 Les courbes des Fig. 1 à 3 représentent les valeurs de champ dépassées en 50% des emplacements dans une zone quelconque de 500 m sur 500 m environ et pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets terrestres.

3 La distribution du champ en fonction du pourcentage d'emplacement peut être calculée en utilisant les informations contenues au § 12 de l'Annexe 5.

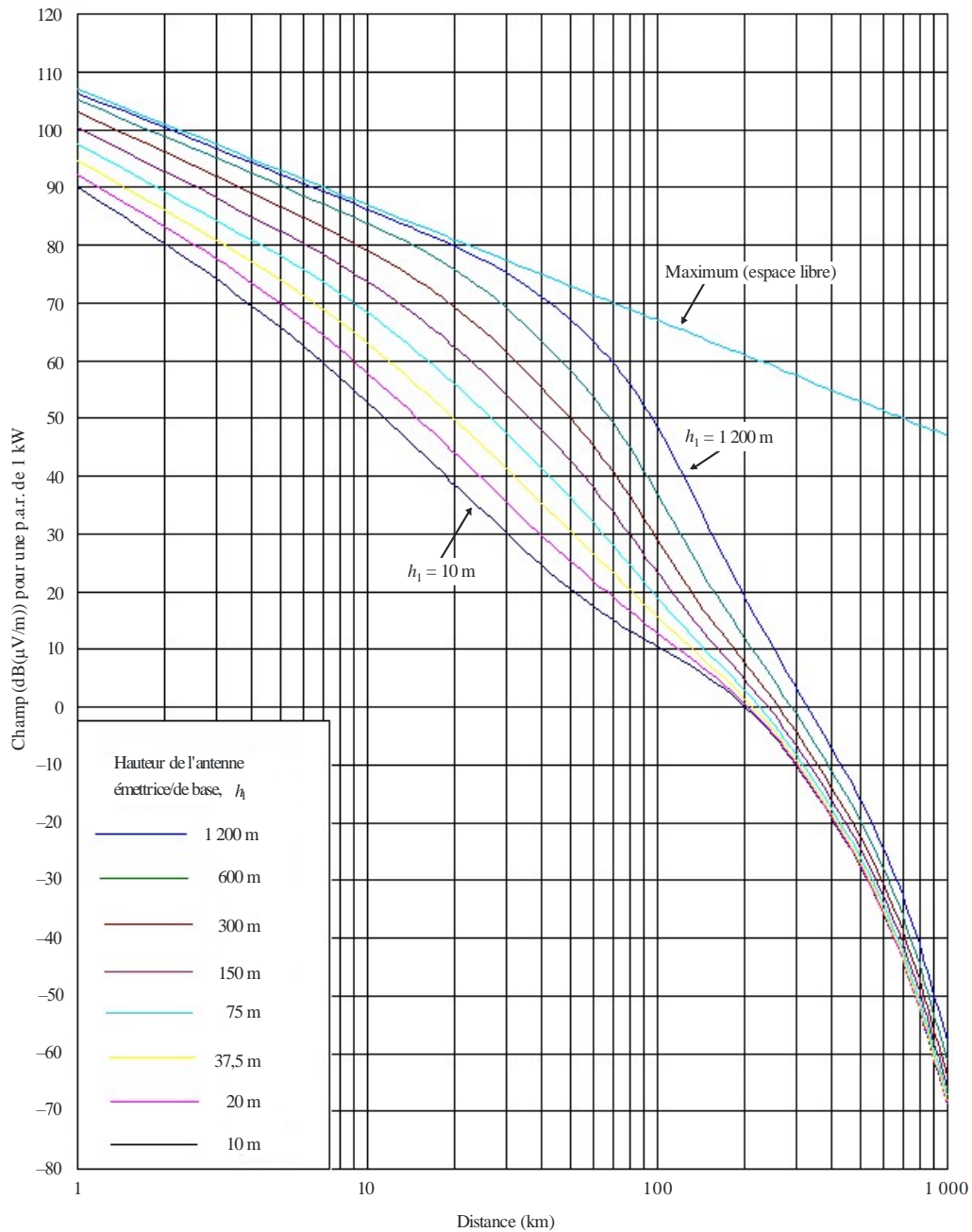
4 Les courbes des Fig. 4 à 8 représentent les valeurs du champ dépassé en 50% des emplacements pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets maritimes dans des mers froides et des mers chaudes, par exemple celles qui sont observées en mer du Nord et en Méditerranée, respectivement.

5 Dans les zones sujettes à des phénomènes de superréfraction prononcée, on devrait tenir compte des informations contenues au § 18 de l'Annexe 1.

6 L'ionosphère peut influencer la propagation aux fréquences situées dans la partie basse des ondes métriques, en particulier aux fréquences inférieures à 90 MHz environ, ceci principalement en raison de l'ionisation de la couche E sporadique. Dans certains cas, ce mode de propagation peut influencer le champ dépassé pendant de faibles pourcentages de temps à des distances supérieures à 500 km environ; dans la région de l'équateur magnétique et dans la zone aurorale, des pourcentages plus élevés de temps peuvent être atteints. Néanmoins, on peut généralement négliger ces effets

ionosphériques pour la plupart des applications où l'on se réfère à la présente Recommandation, les courbes de propagation figurant dans la présente Annexe ont été établies dans cette hypothèse. (Voir la Recommandation UIT-R P.534 pour des informations concernant la propagation E sporadique.)

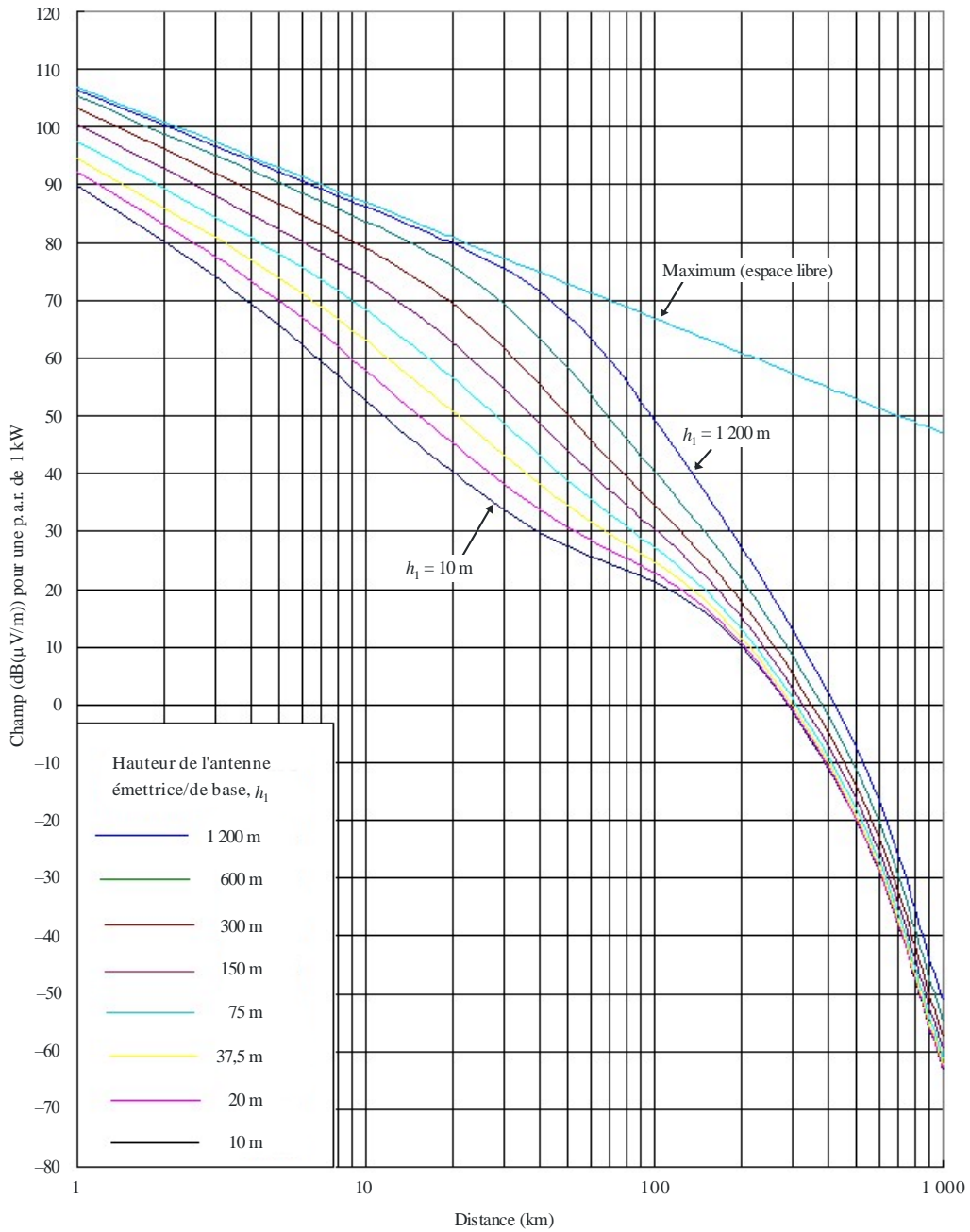
FIGURE 1
100 MHz, trajet terrestre, 50% du temps



50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

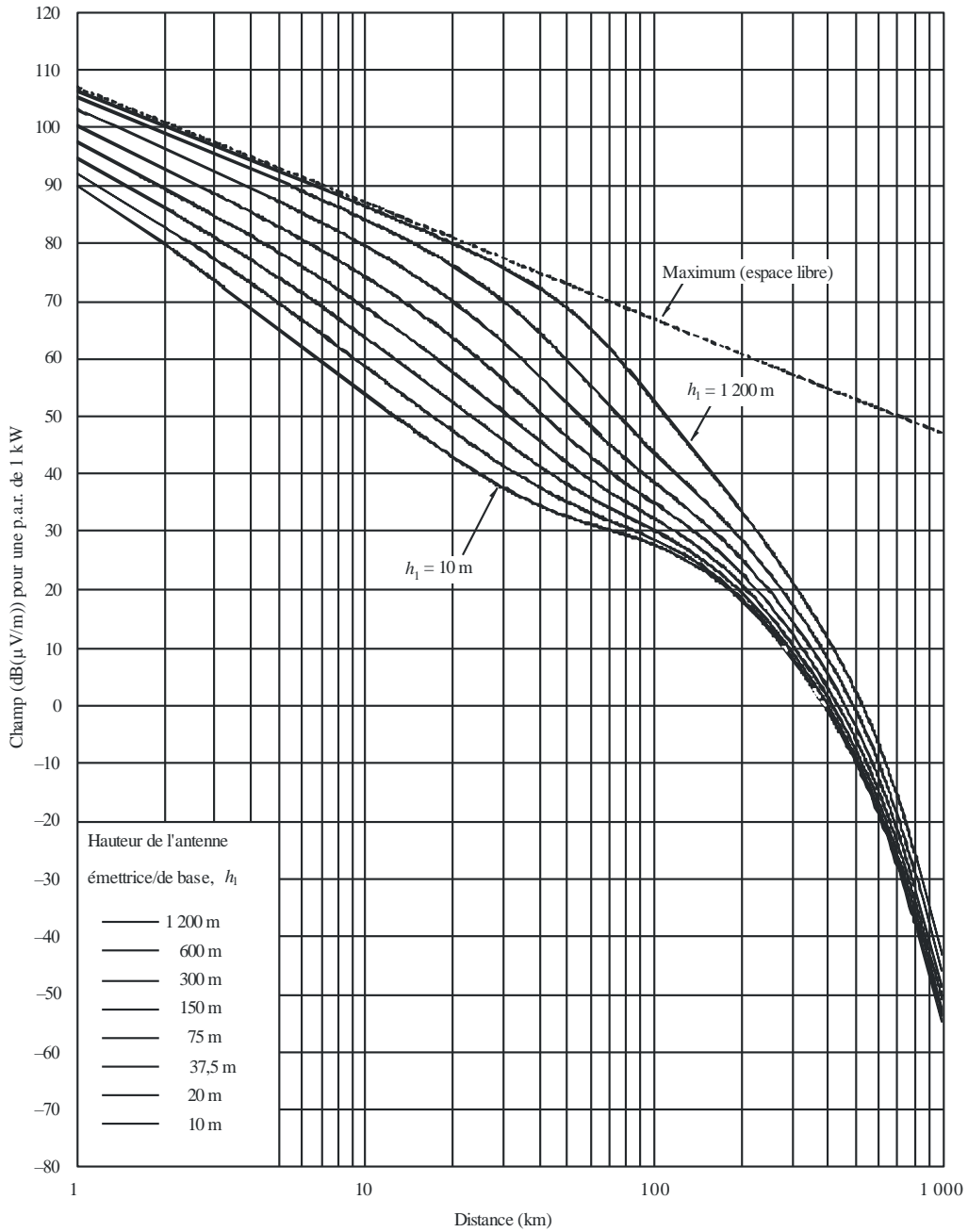
FIGURE 2
100 MHz, trajet terrestre, 10% du temps



50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

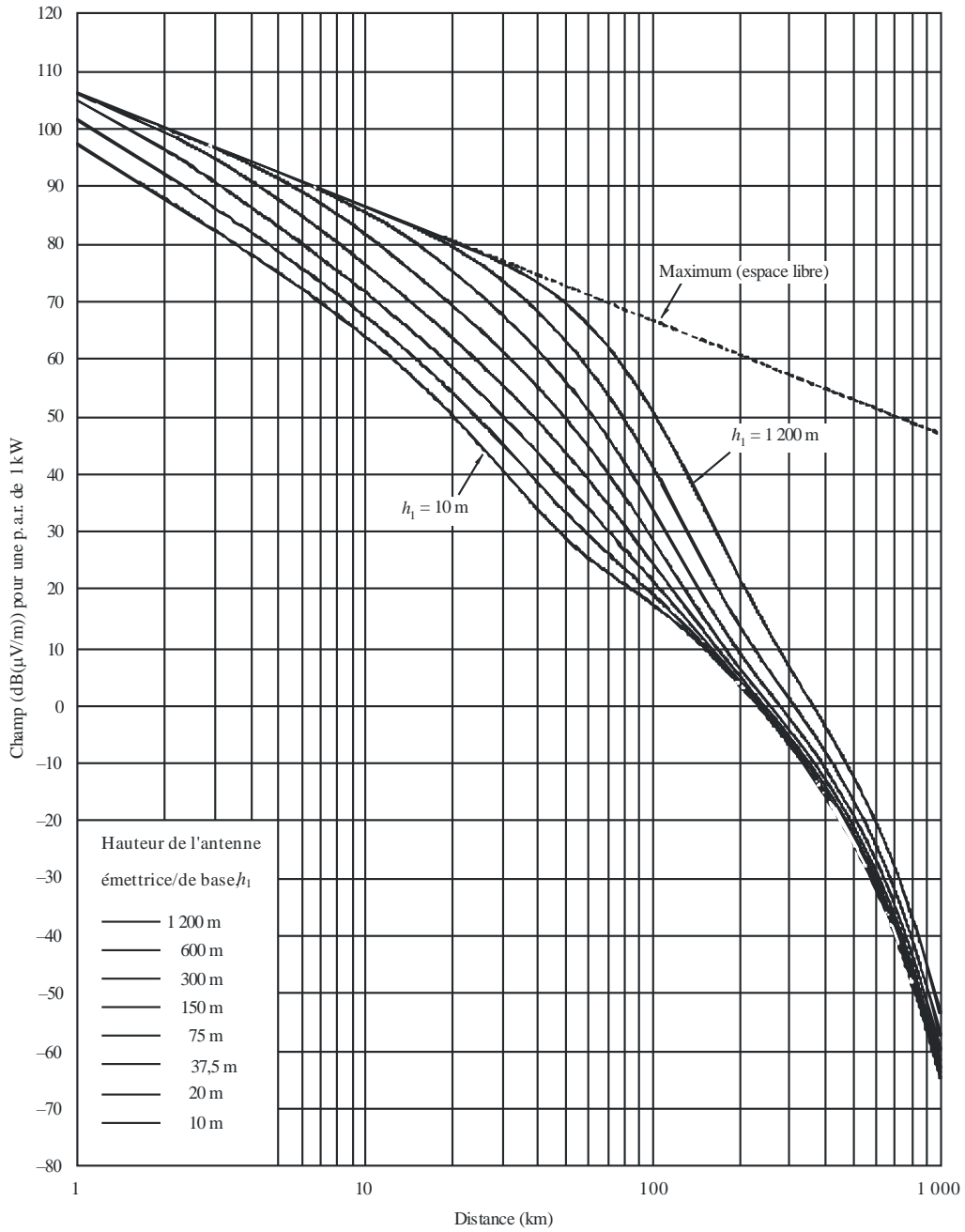
FIGURE 3
100 MHz, trajet terrestre, 1% du temps



50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

FIGURE 4
 100 MHz, trajet maritime, 50% du temps

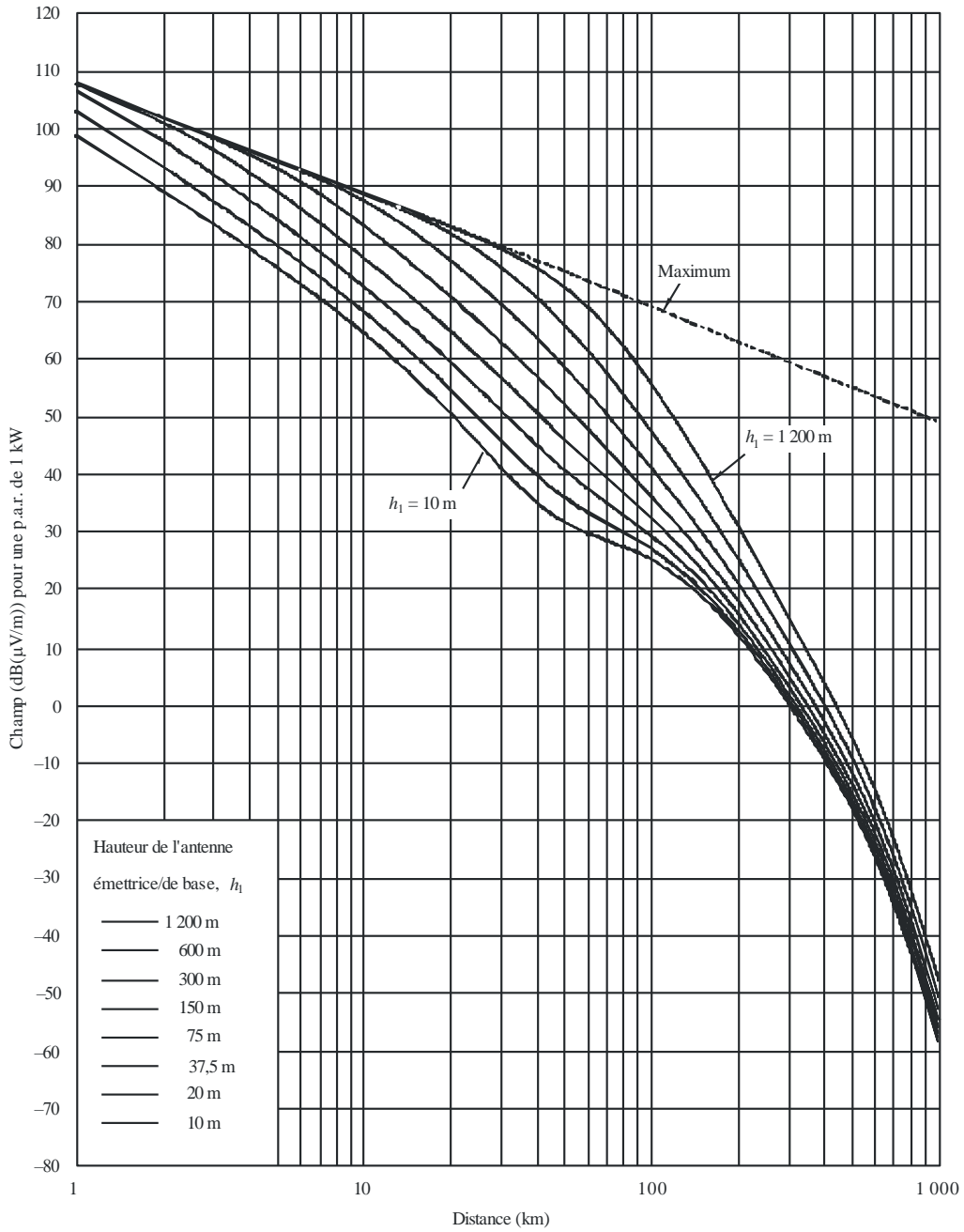


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-04

FIGURE 5
100 MHz, trajet mer froide, 10% du temps

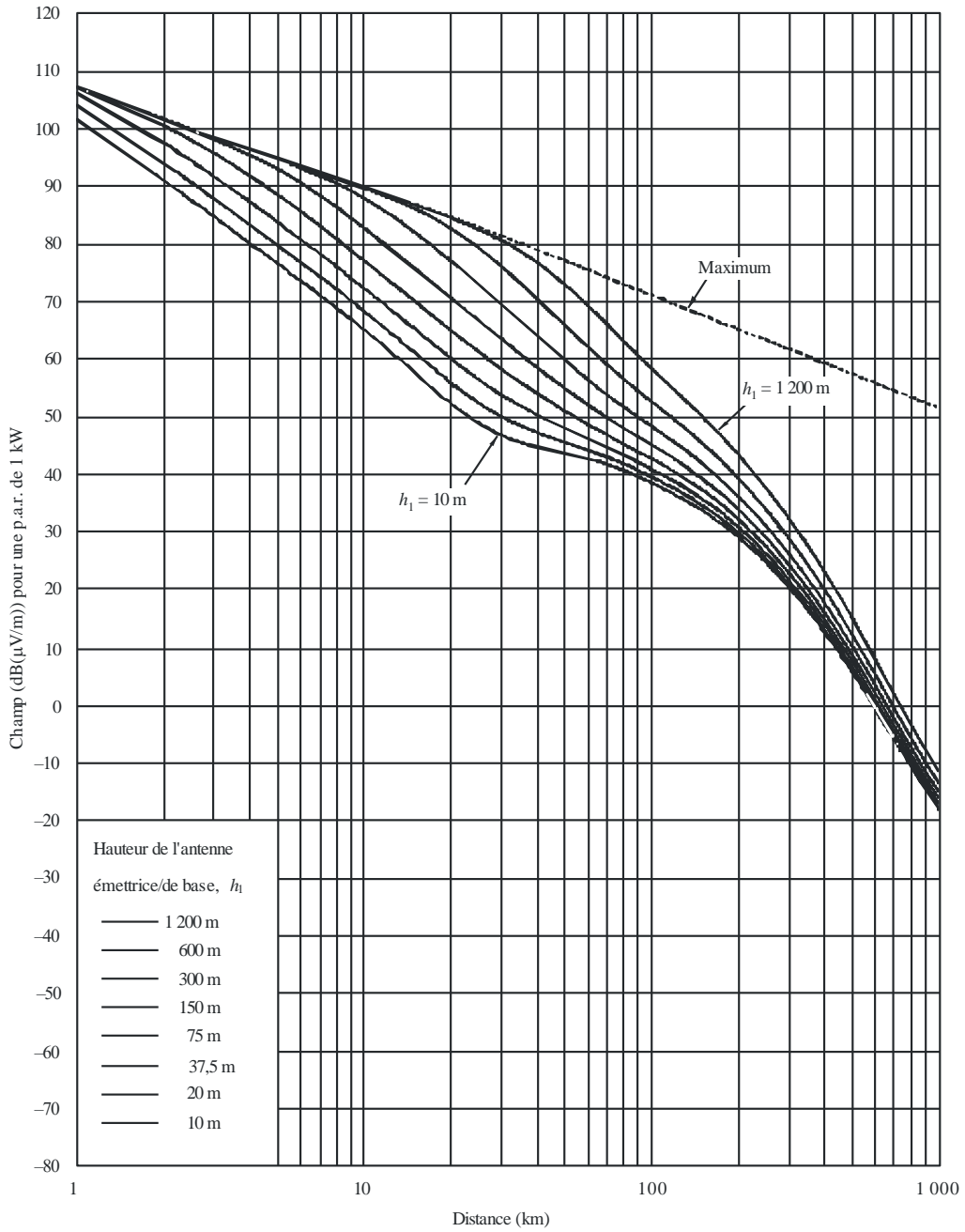


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-05

FIGURE 6
100 MHz, trajet mer froide, 1% du temps

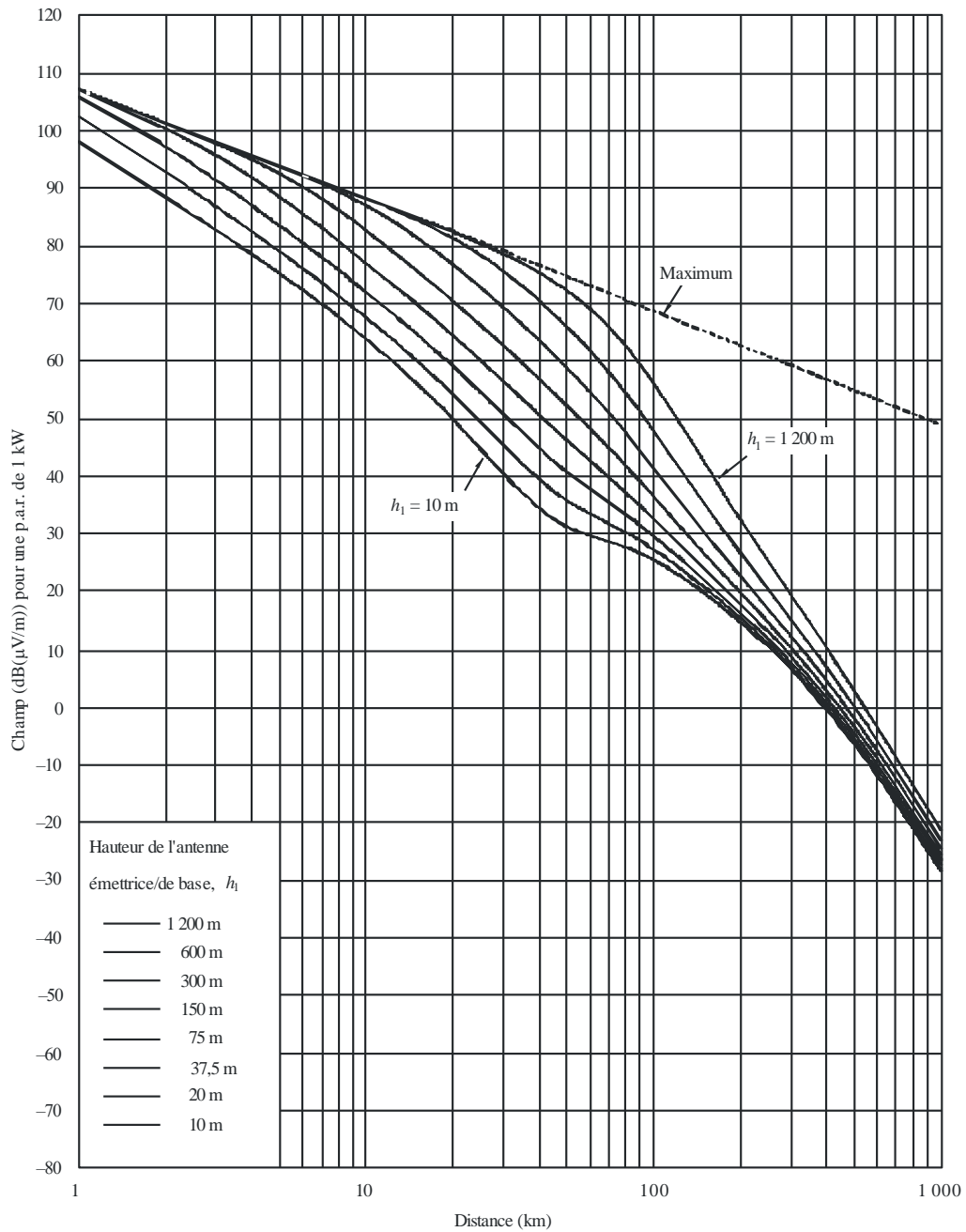


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-06

FIGURE 7
100 MHz, trajet mer chaude, 10% du temps

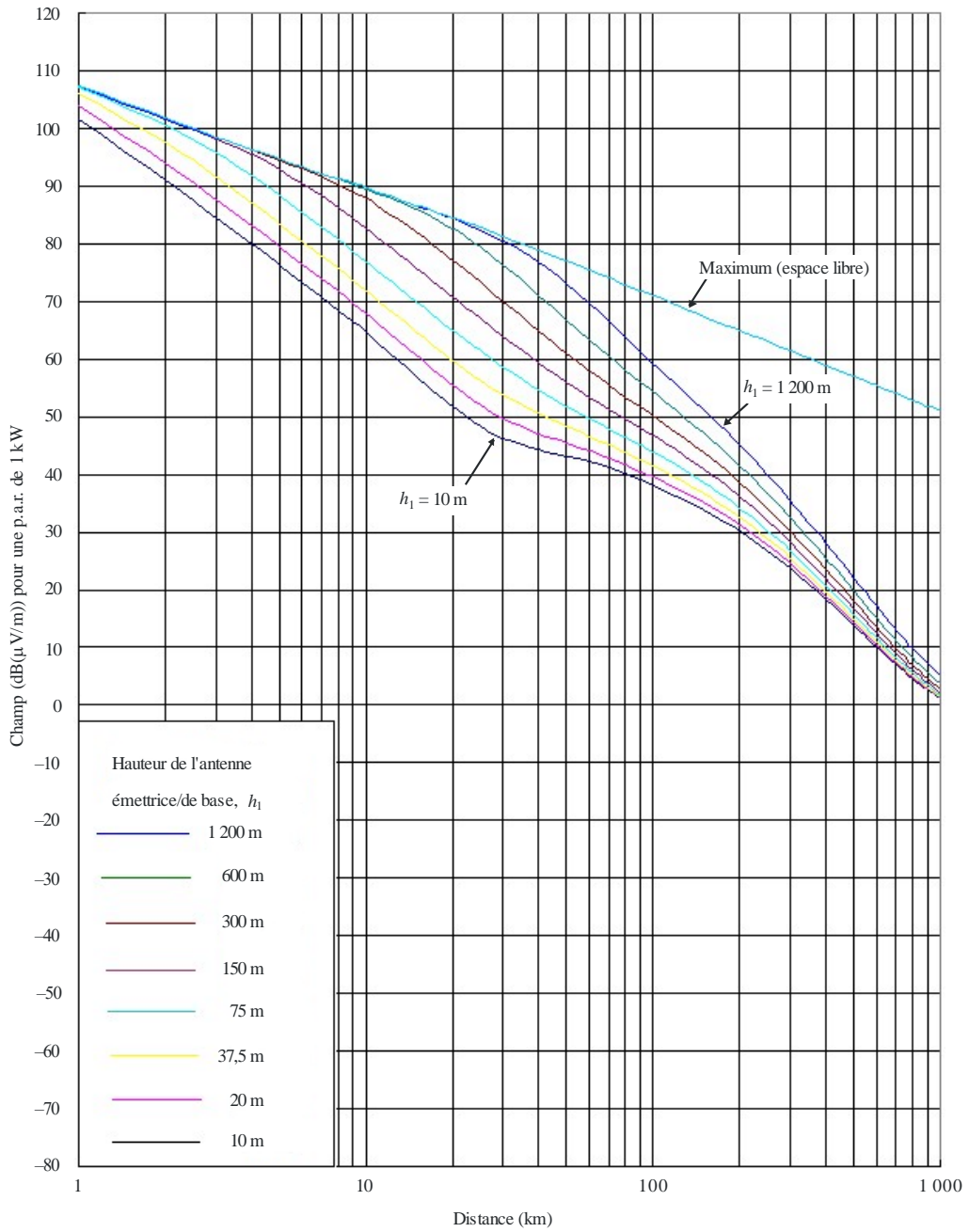


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-07

FIGURE 8
100 MHz, trajet mer chaude, 1% du temps



50% des emplacements

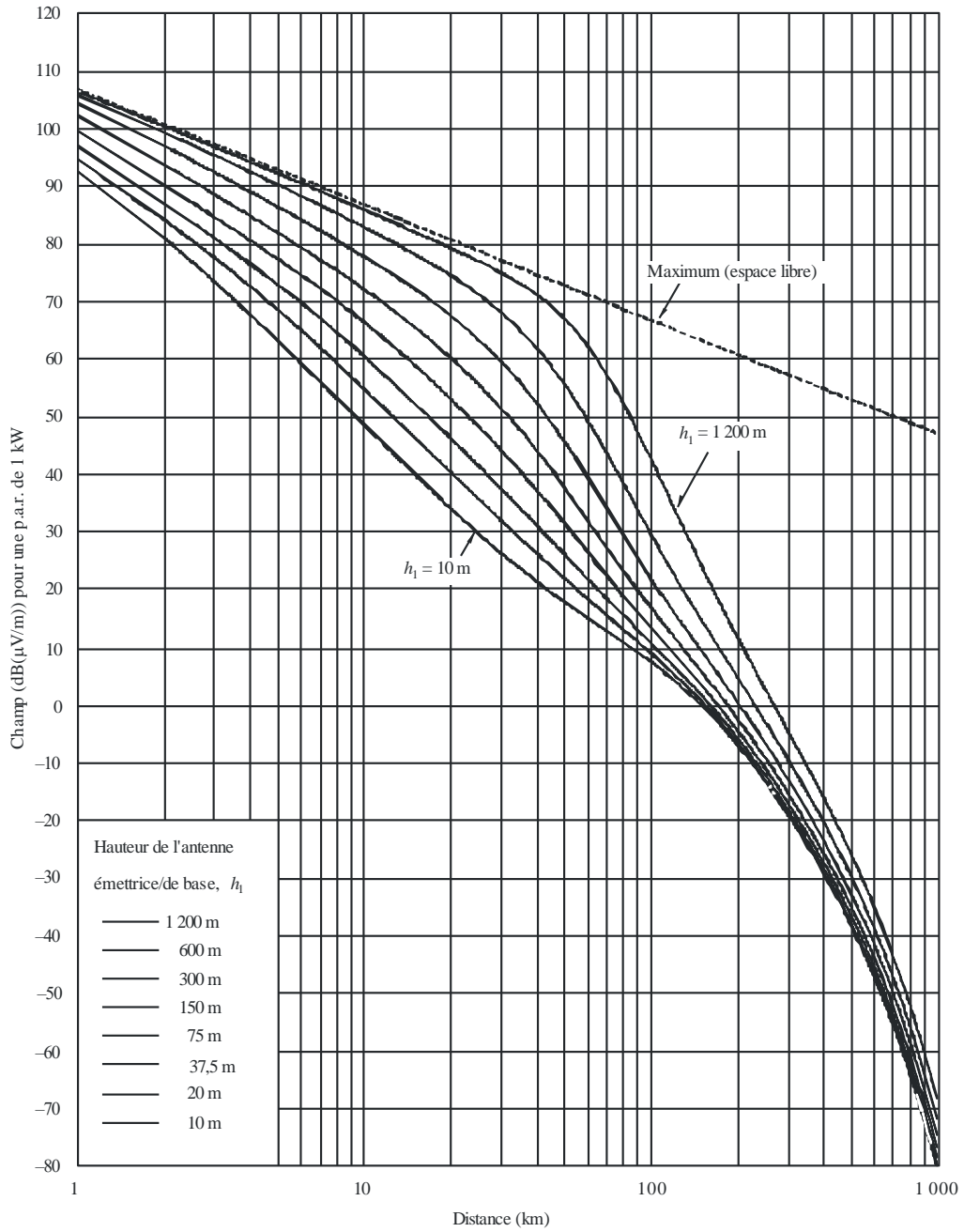
$h_2 = 10$ m

Annexe 3

Fréquences comprises entre 300 MHz et 1 000 MHz

- 1** Les courbes de champ en fonction de la distance sont données dans la présente Annexe pour une fréquence de 600 MHz. Elles peuvent être utilisées pour des fréquences comprises entre 300 MHz et 1 000 MHz mais la procédure donnée au § 6 de l'Annexe 5 doit être utilisée afin d'en améliorer l'exactitude. La même procédure doit être utilisée lorsque les valeurs de champ en fonction de la distance figurant dans les tableaux (voir le § 3 de l'Annexe 1) sont utilisées.
- 2** Les courbes des Fig. 9 à 11 représentent les valeurs de champ dépassées en 50% des emplacements dans une zone quelconque de 500 m sur 500 m environ et pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets terrestres.
- 3** La distribution du champ en fonction du pourcentage d'emplacement peut être calculée en utilisant les informations contenues au § 12 de l'Annexe 5.
- 4** Les courbes des Fig. 12 à 16 représentent les valeurs du champ dépassé en 50% des emplacements pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets maritimes dans des mers froides et des mers chaudes, par exemple celles qui sont observées en mer du Nord et en Méditerranée, respectivement.
- 5** Dans les zones sujettes à des phénomènes de superréfraction prononcée, on devrait tenir compte des informations contenues au § 18 de l'Annexe 1.

FIGURE 9
600 MHz, trajet terrestre, 50% du temps

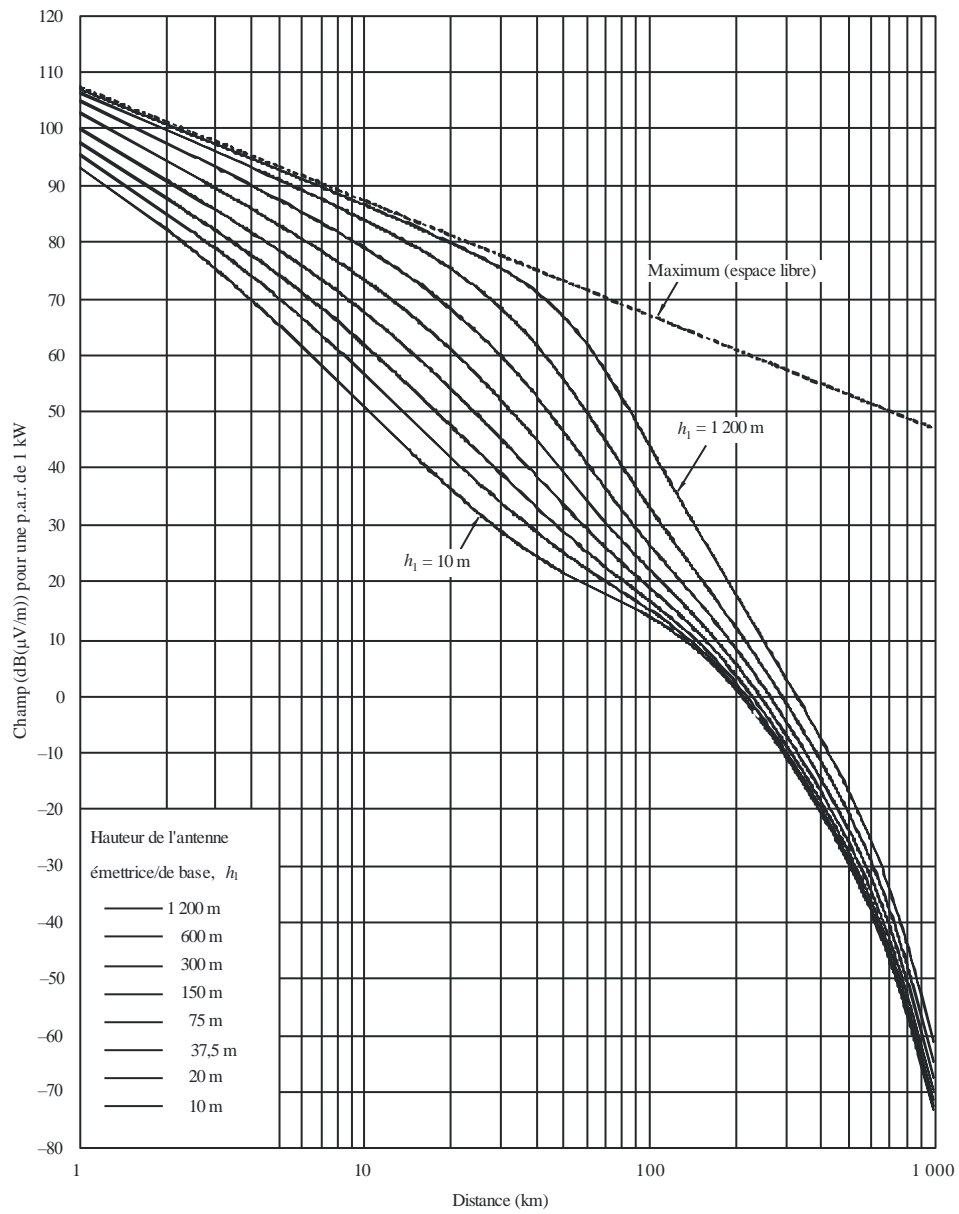


50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

P.1546-09

FIGURE 10
600 MHz, trajet terrestre, 10% du temps

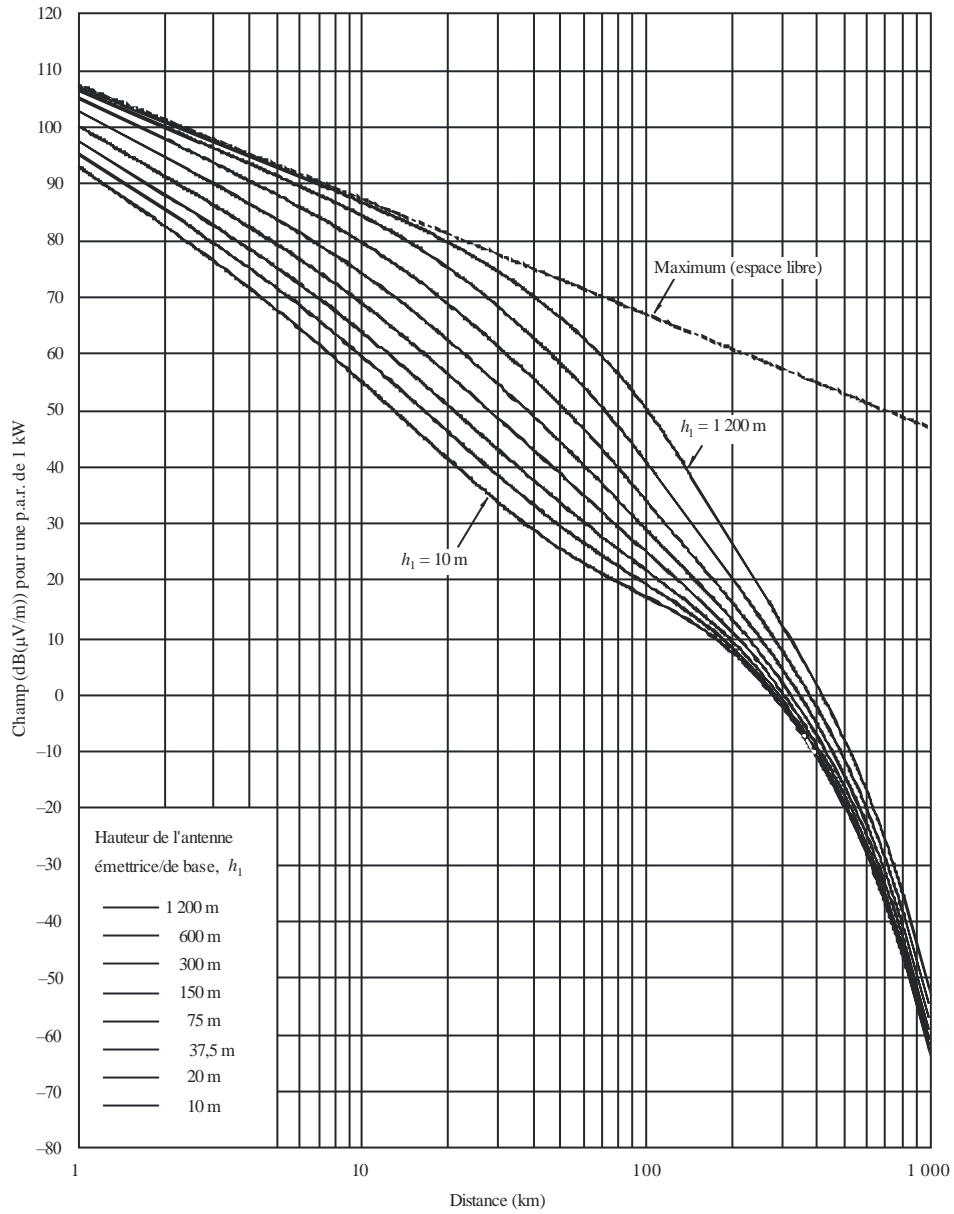


50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

P.1546-10

FIGURE 11
600 MHz, trajet terrestre, 1% du temps

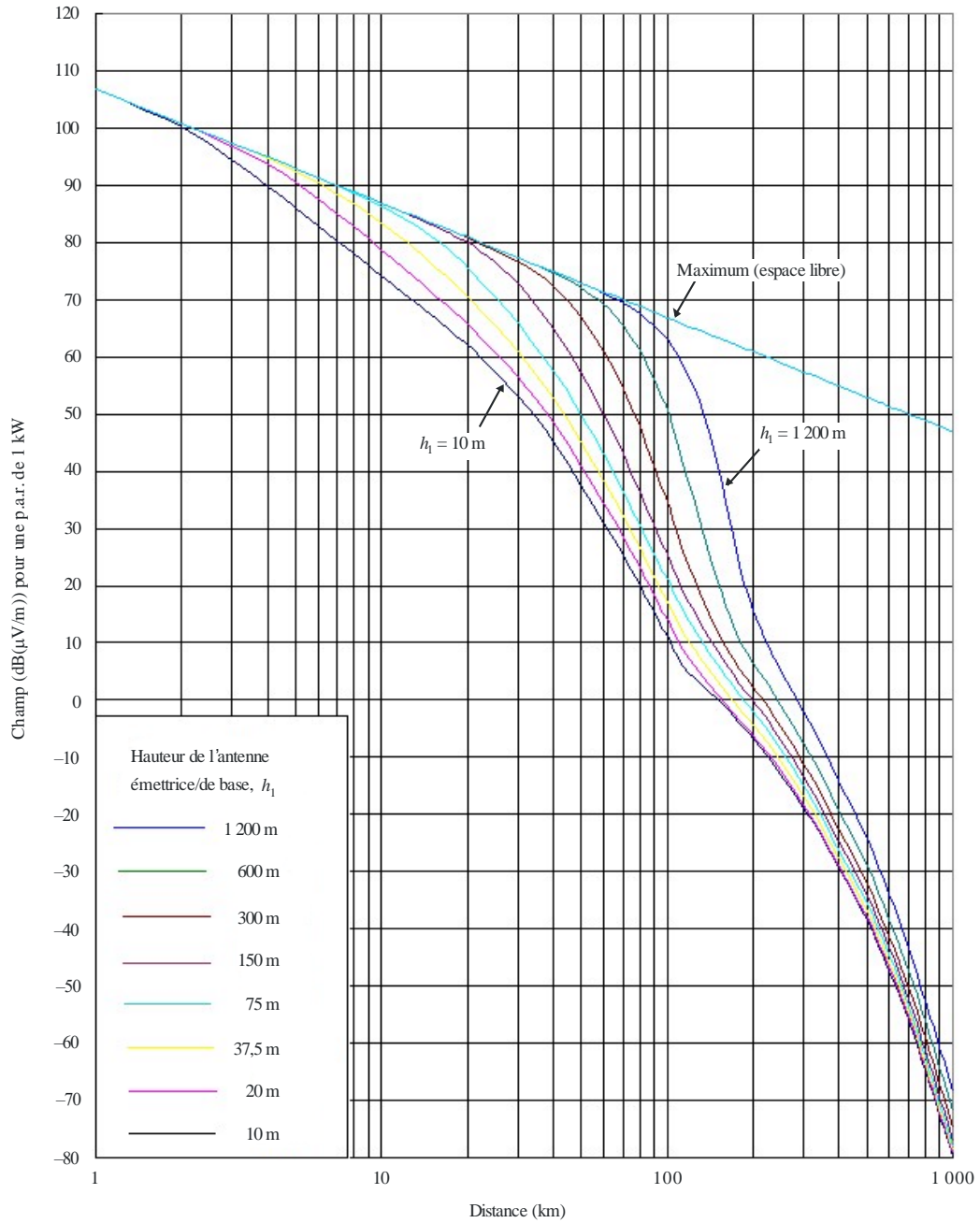


50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

P.1546-11

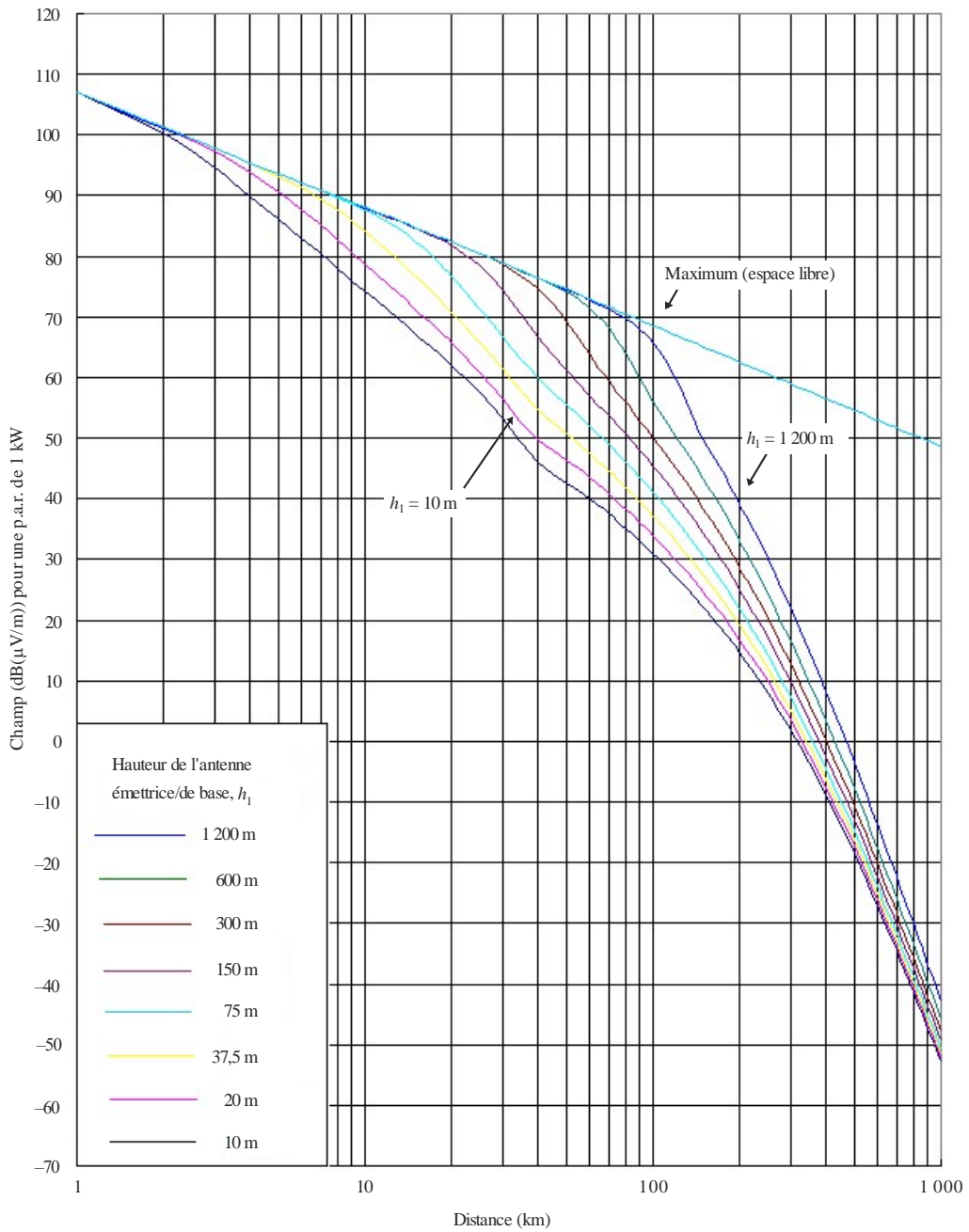
FIGURE 12
600 MHz, trajet maritime, 50% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

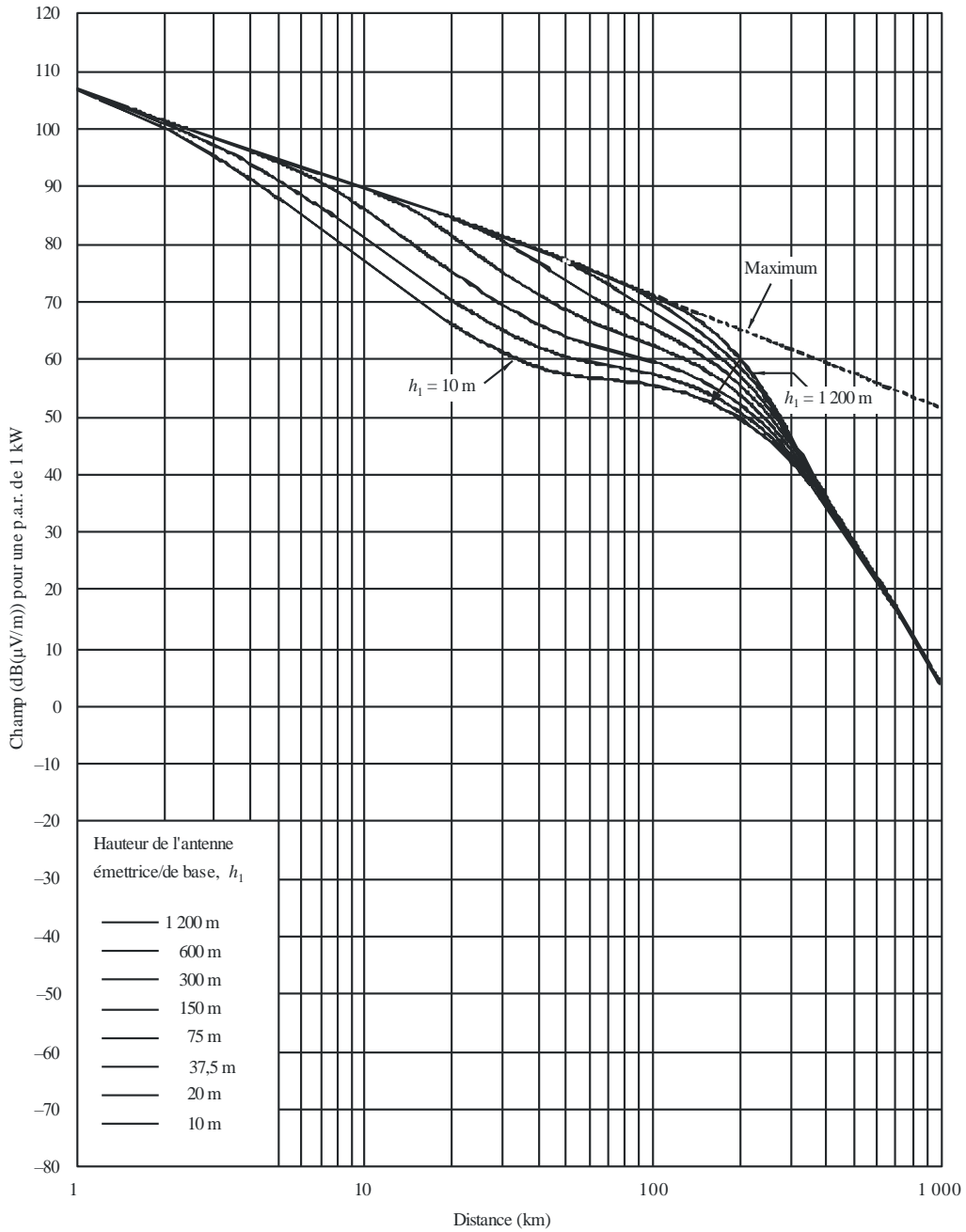
FIGURE 13
600 MHz, trajet mer froide, 10% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10\text{ m}$

FIGURE 14
600 MHz, trajet mer froide, 1% du temps

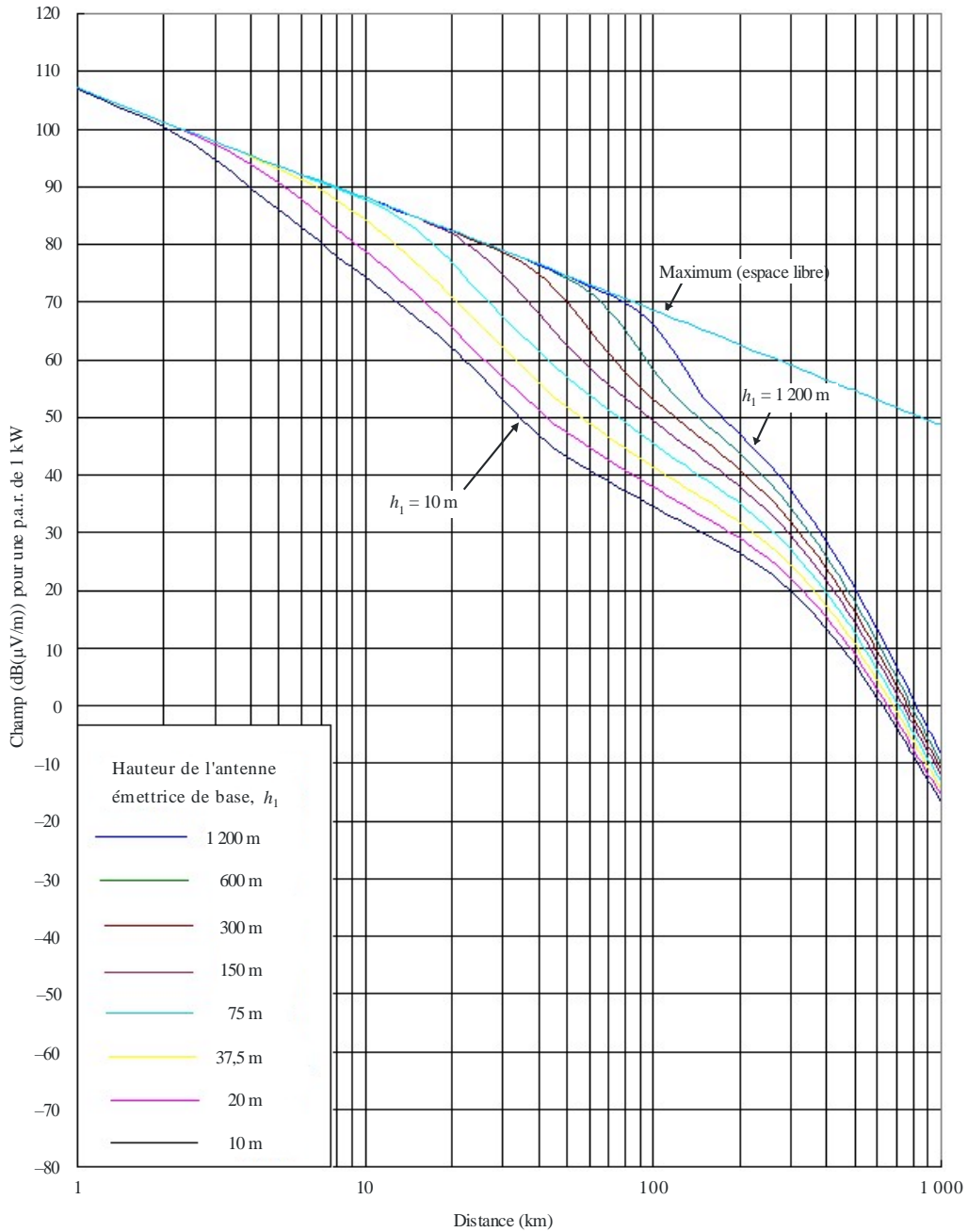


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-14

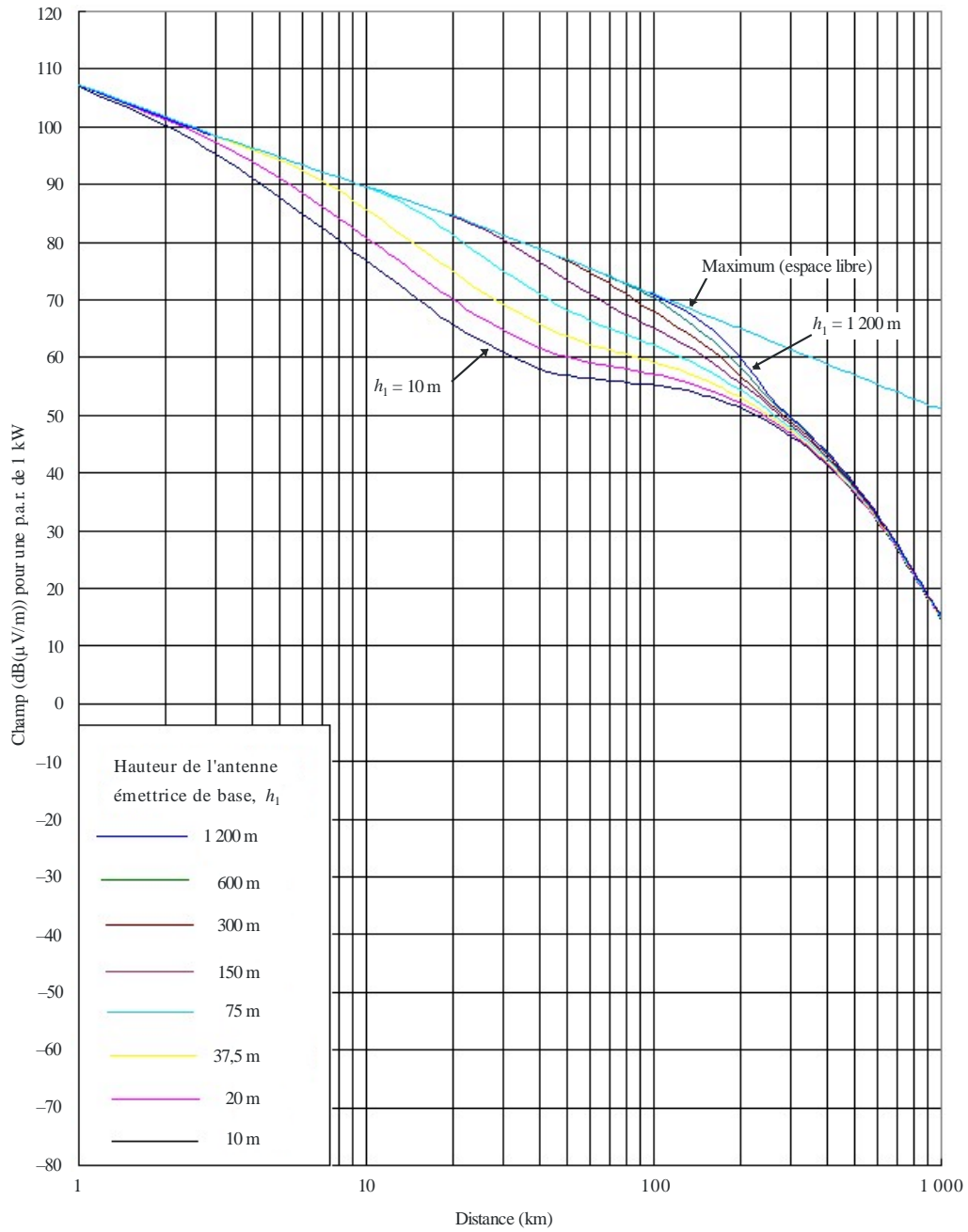
FIGURE 15
600 MHz, trajet mer chaude, 10% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

FIGURE 16
600 MHz, trajet mer chaude, 1% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10\ m$

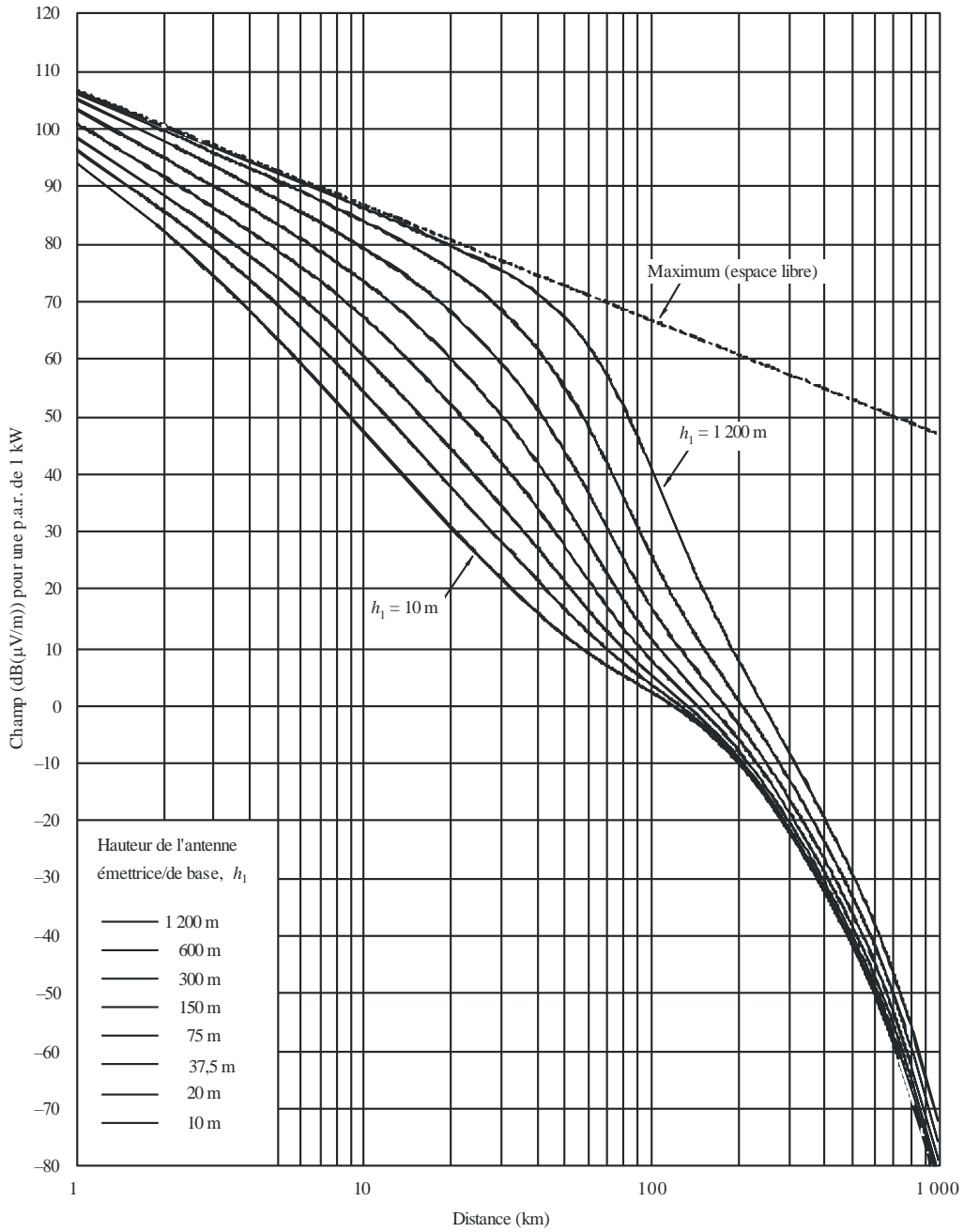
Annexe 4

Fréquences comprises entre 1 000 MHz et 4 000 MHz

- 1** Les courbes de champ en fonction de la distance sont données dans la présente Annexe pour une fréquence de 2 000 MHz. Elles peuvent être utilisées pour des fréquences comprises entre 1 000 MHz et 4 000 MHz mais la procédure donnée au § 6 de l'Annexe 5 doit être utilisée afin d'en améliorer l'exactitude. La même procédure doit être utilisée lorsque les valeurs de champ en fonction de la distance figurant dans les tableaux (voir le § 3 de l'Annexe 1) sont utilisées.
- 2** Les courbes des Fig. 17 à 19 représentent les valeurs de champ dépassées en 50% des emplacements dans une zone quelconque de 500 m sur 500 m environ et pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets terrestres.
- 3** La distribution du champ en fonction du pourcentage d'emplacement peut être calculée en utilisant les informations contenues au § 12 de l'Annexe 5.
- 4** Les courbes des Fig. 20 à 24 représentent les valeurs du champ dépassé en 50% des emplacements pour 50%, 10% et 1% du temps pour des trajets maritimes dans des mers froides et des mers chaudes, par exemple celles qui sont observées en mer du Nord et en Méditerranée, respectivement.
- 5** Dans les zones sujettes à des phénomènes de superréfraction prononcée, on devrait tenir compte des informations contenues au § 18 de l'Annexe 1.

FIGURE 17

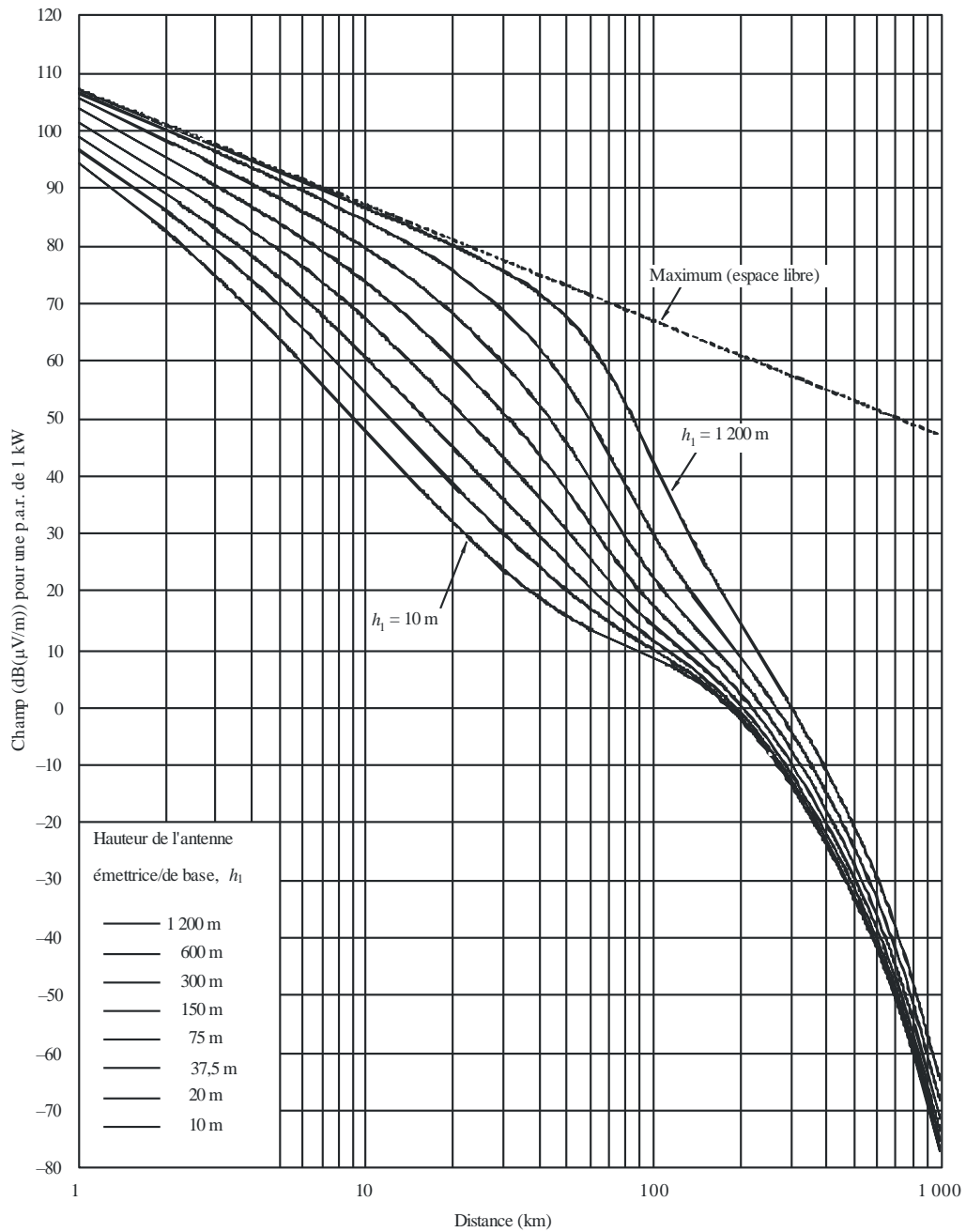
2 000 MHz, trajet terrestre, 50% du temps



50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

FIGURE 18
2 000 MHz, trajet terrestre, 10% du temps

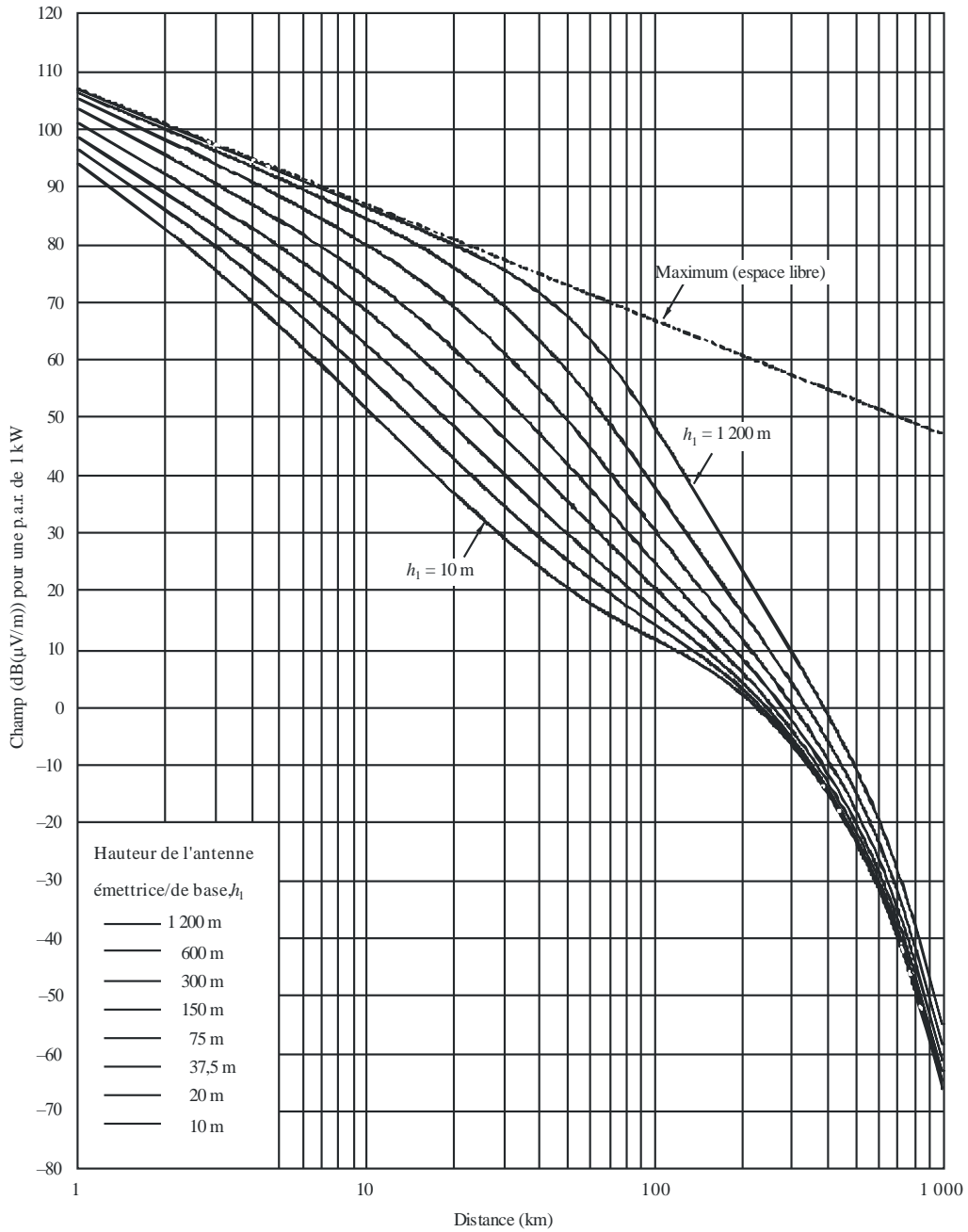


50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

P.1546-18

FIGURE 19
2 000 MHz, trajet terrestre, 1% du temps

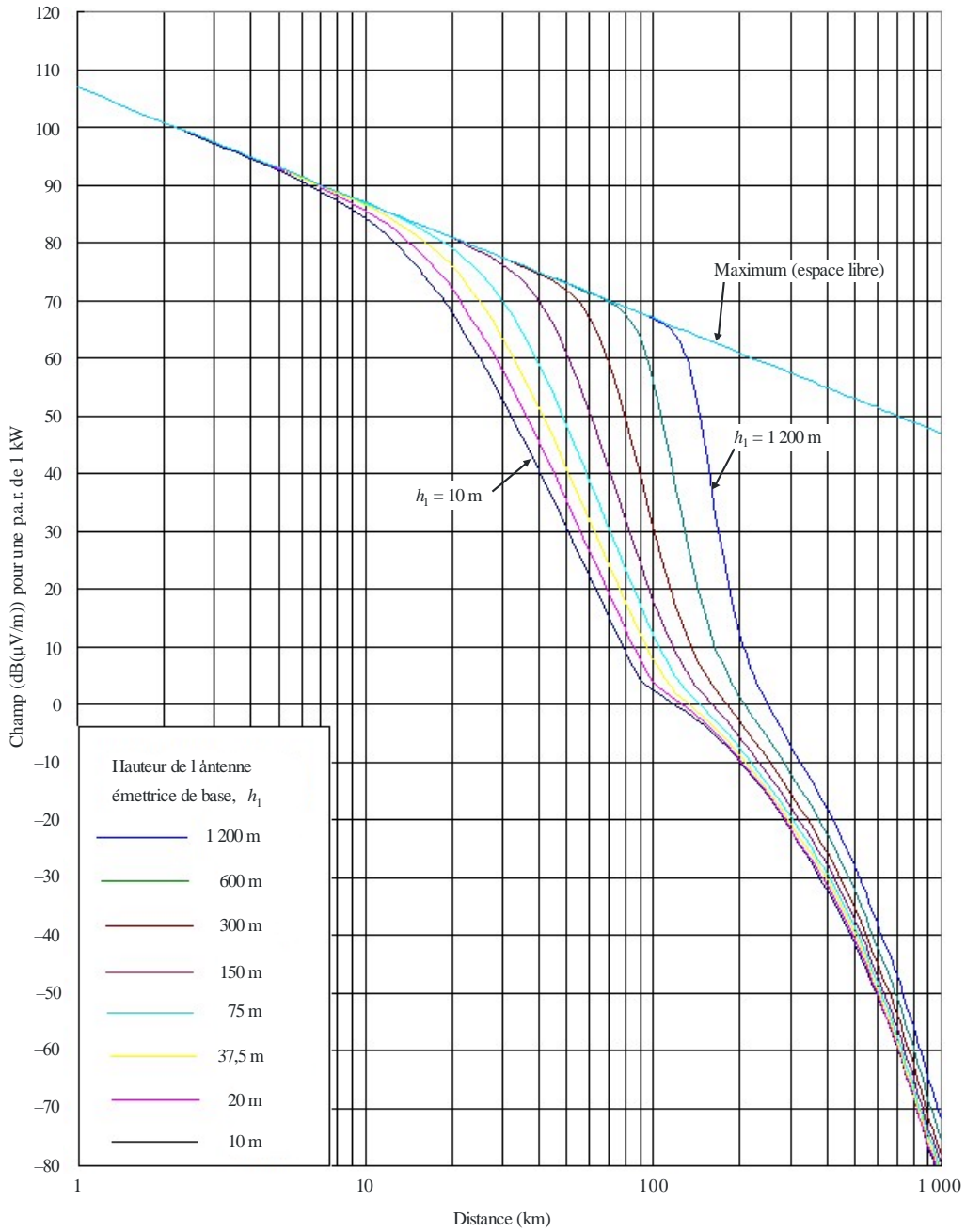


50% des emplacements

h_2 : hauteur représentative des obstacles

P.1546-19

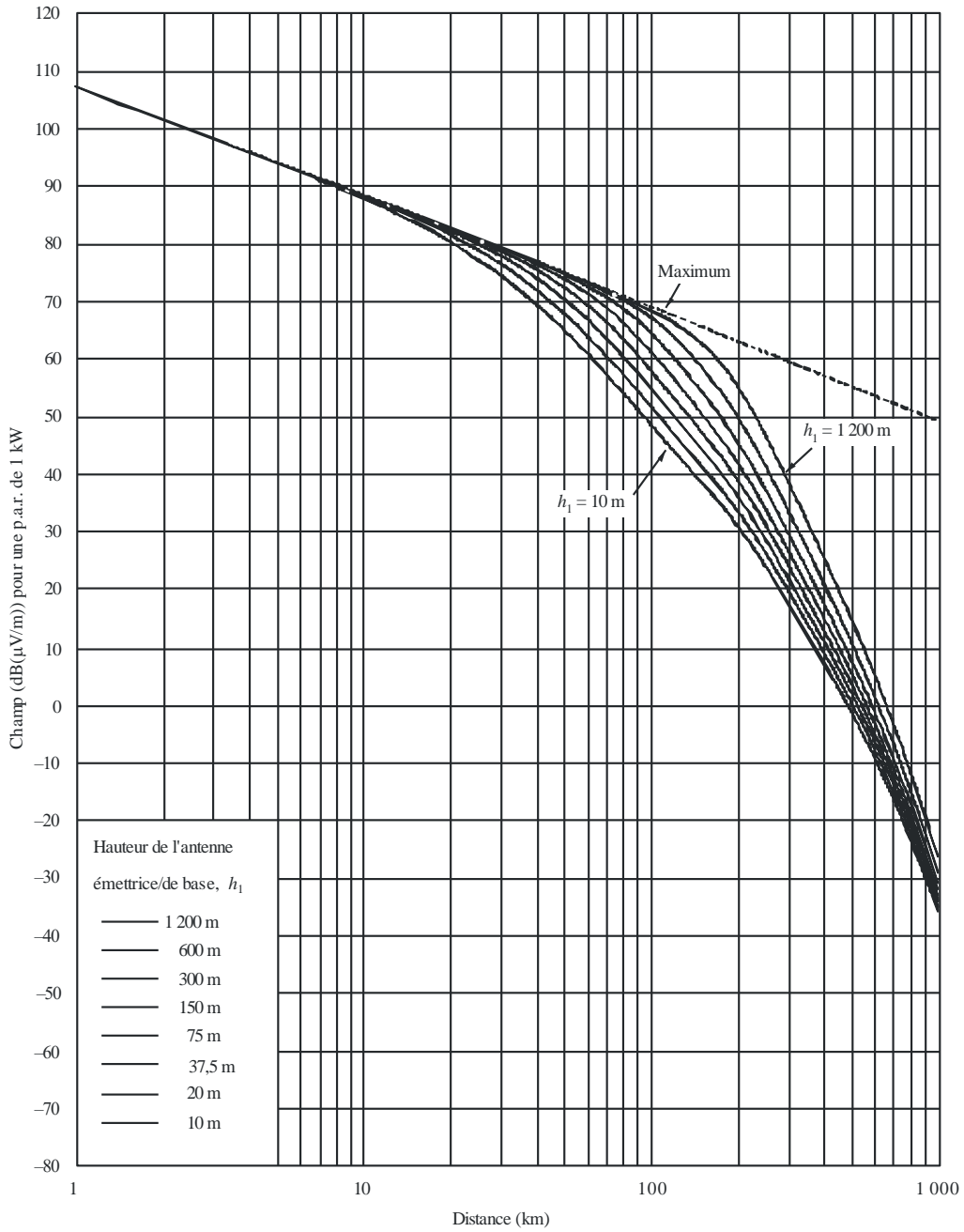
FIGURE 20
2 000 MHz, trajet maritime, 50% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

FIGURE 21
2 000 MHz, trajet mer froide, 10% du temps

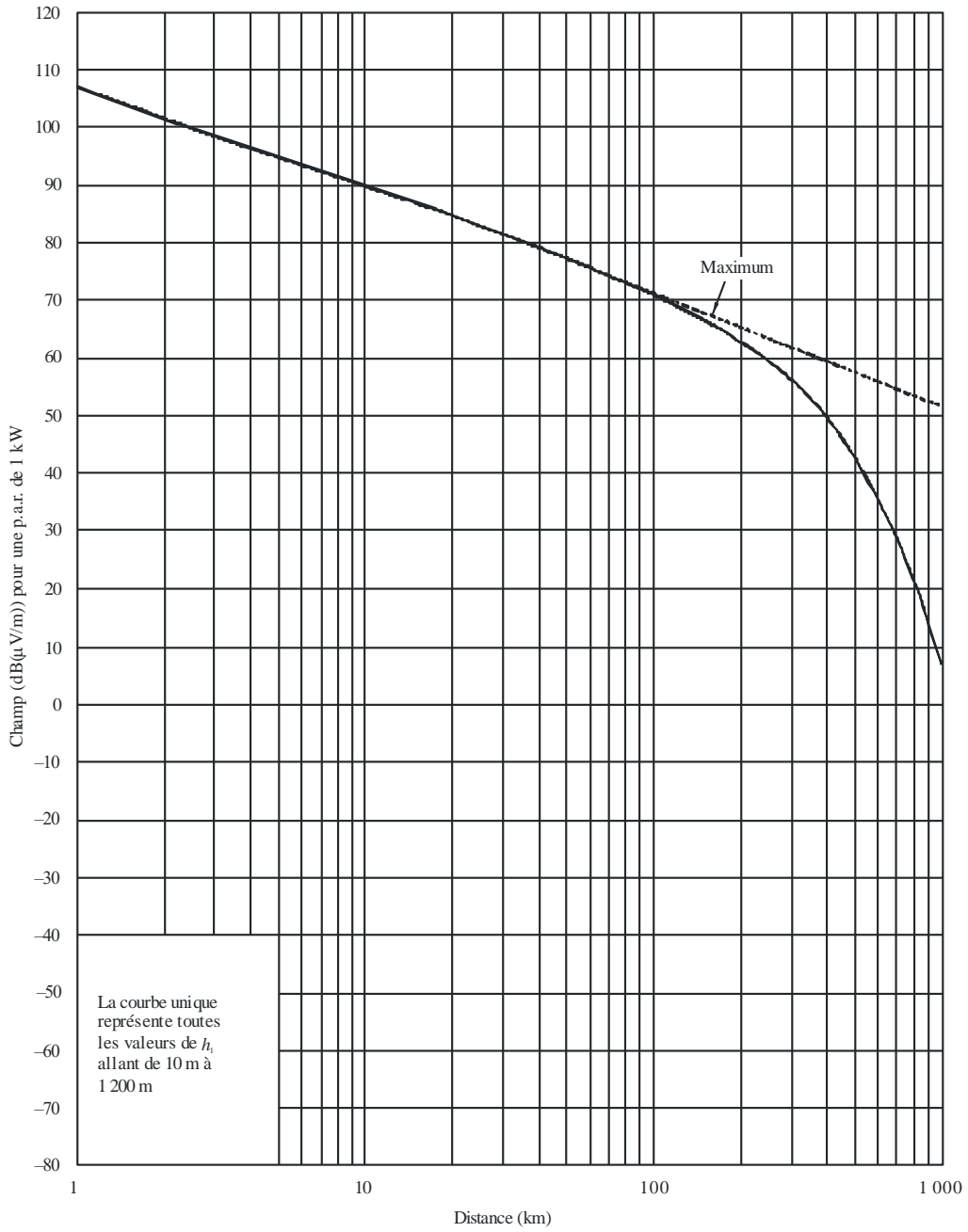


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-21

FIGURE 22
2 000 MHz, trajet mer froide, 1% du temps

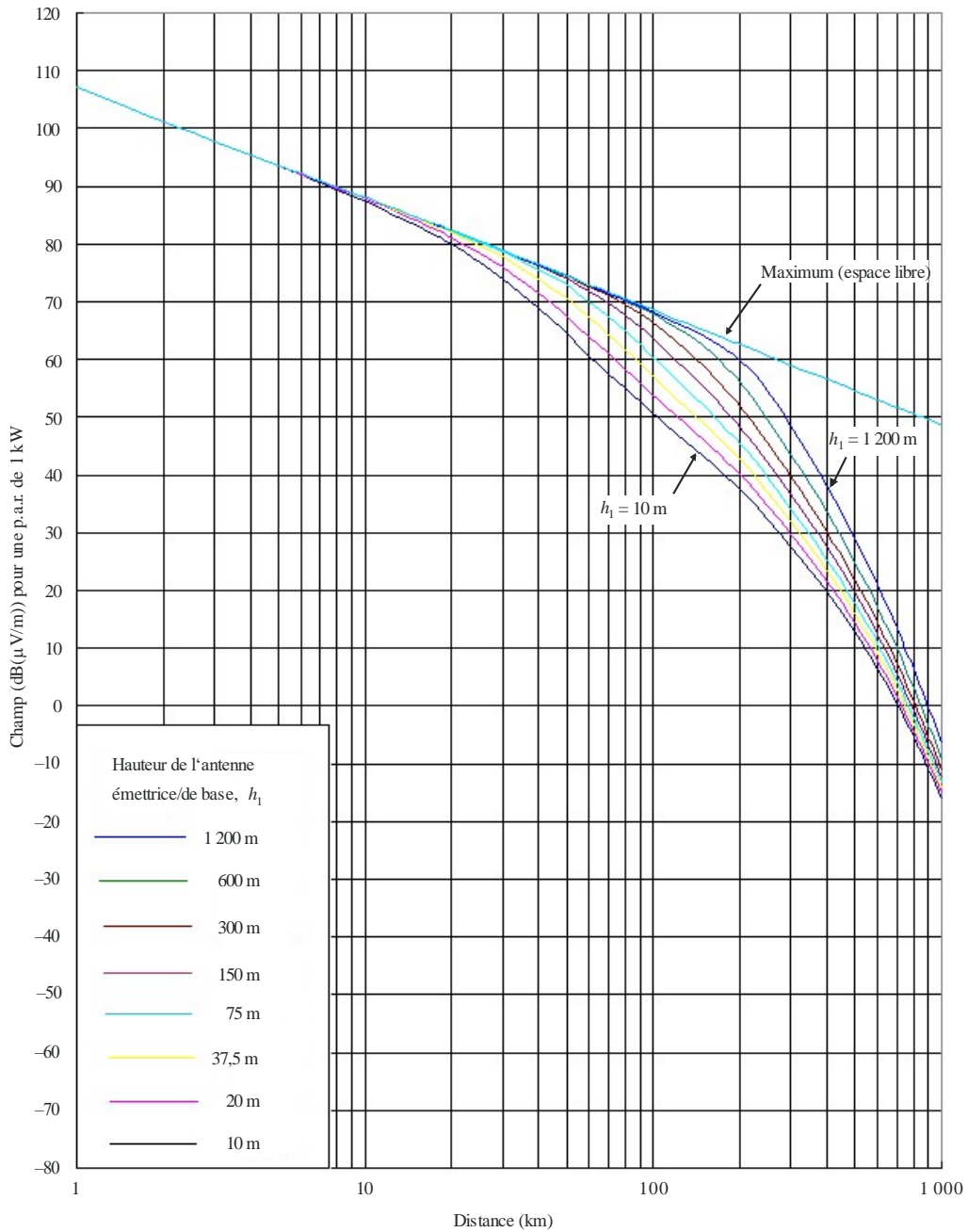


50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-22

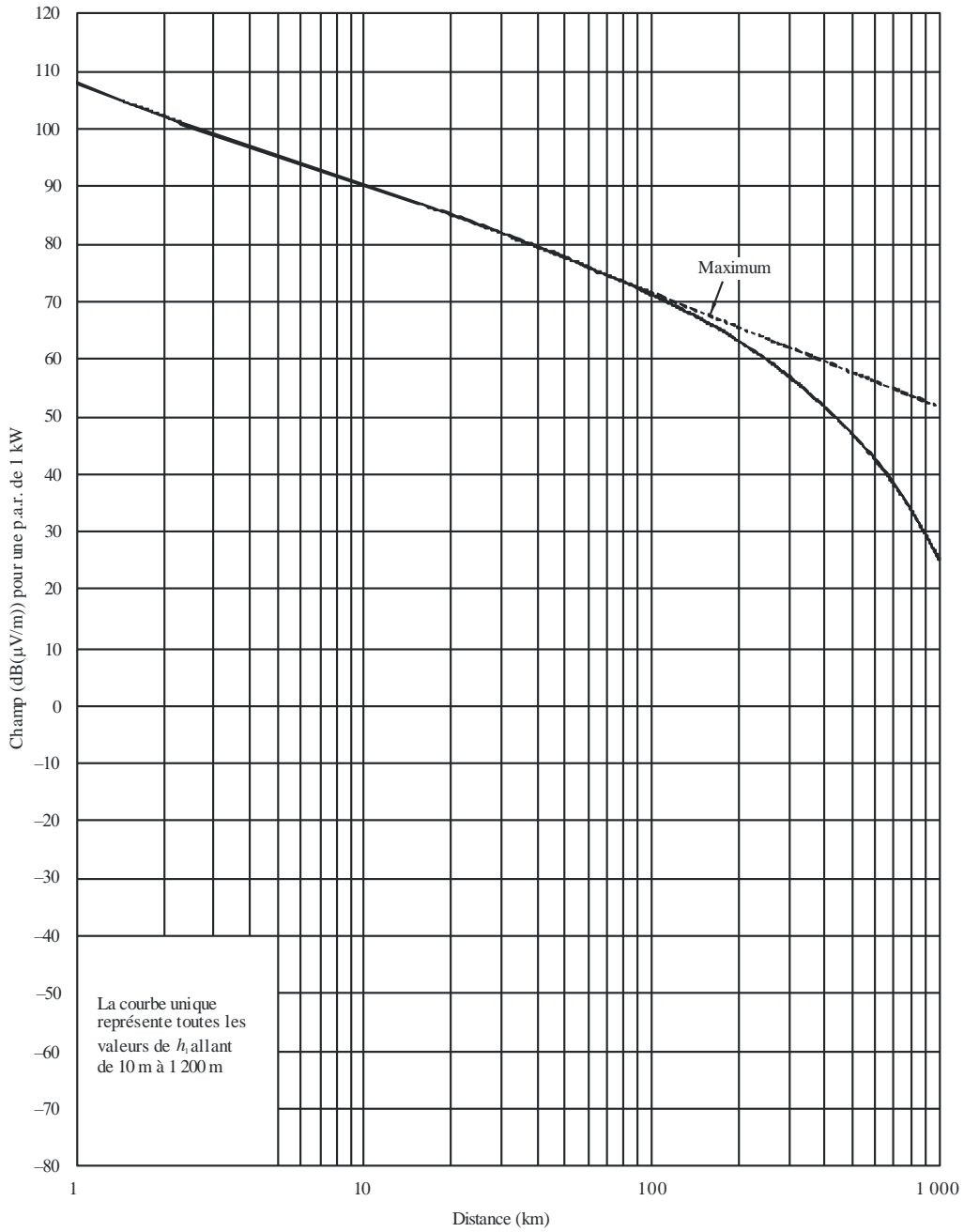
FIGURE 23
2 000 MHz, trajet mer chaude, 10% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

FIGURE 24
2 000 MHz, trajet mer chaude, 1% du temps



50% des emplacements

$h_2 = 10$ m

P.1546-24

Annexe 5

Informations complémentaires et mise en œuvre de la méthode de prévision

1 Introduction

La présente Annexe décrit diverses étapes du calcul, mais pas nécessairement dans l'ordre à suivre. Il convient de suivre la méthode complète pas à pas décrite dans l'Annexe 6.

Les § 2 à 7 de la présente Annexe décrivent comment les champs sont obtenus à partir des familles de courbes par interpolation par rapport à la distance h_1 , la fréquence et le pourcentage de temps. Le § 8 décrit comment les champs sont combinés pour un trajet mixte terrestre-maritime. Les § 9 à 14 décrivent les corrections à apporter aux prévisions du champ pour obtenir une meilleure précision. Le § 15 décrit la méthode à utiliser pour les trajets de moins de 1 km. Les § 16 à 18 donnent des informations complémentaires.

1.1 Désignation des terminaux

Dans la présente Recommandation les désignations relatives à la station émettrice/de base et à la station/au terminal mobile/de réception ne peuvent pas être échangées. Lorsqu'on utilise la présente Recommandation pour calculer la couverture, ou effectuer la coordination des stations de radiodiffusion et/ou de base vers des stations mobiles, la station émettrice/de base existante doit être considérée comme la station «émettrice/de base». S'il n'y a pas de raison à *priori* de considérer l'un ou l'autre terminal comme une station émettrice/de base, le choix du terminal qui sera désigné comme étant la station émettrice/de base, dans le cadre de la présente Recommandation, peut se faire de la façon suivante:

- a) si les deux terminaux se trouvent à une hauteur égale ou inférieure à celle des obstacles dans leurs environnements proches respectifs, le terminal dont la hauteur au-dessus du sol est la plus élevée devra être considéré comme la station émettrice/de base;
- b) si un terminal se trouve dans un emplacement dégagé ou au-dessus des obstacles environnants alors que l'autre terminal se trouve à une hauteur égale ou inférieure à celle des obstacles, le terminal dégagé/non occulté devra être considéré comme la station émettrice/de base;
- c) si les deux terminaux sont dégagés/non occultés, le terminal dont la hauteur équivalente est la plus élevée sera considéré comme la station émettrice/de base.

2 Valeurs maximales du champ

Un champ ne doit pas dépasser la valeur maximale, E_{max} , définie par:

$$E_{max} = E_{fs} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour les trajets terrestres} \quad (1a)$$

$$E_{max} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour les trajets maritimes} \quad (1b)$$

où E_{fs} est le champ en espace libre pour une p.a.r. de 1 kW donné par la relation:

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (2)$$

et E_{se} est un terme d'intensification pour les courbes relatives aux trajets maritimes donné par la relation:

$$E_{se} = 2,38\{1 - \exp(-d / 8,94)\} \log(50/t) \quad \text{dB} \quad (3)$$

où

d : distance en km

t : pourcentage du temps

En principe, aucune correction se traduisant par une intensification du champ ne doit être autorisée pour obtenir des valeurs supérieures à ces limites pour la famille de courbes et de distances concernée. Toutefois, la limitation aux valeurs maximales doit s'appliquer seulement aux cas indiqués dans l'Annexe 6.

3 Détermination de la hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base

La hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base à utiliser dans les calculs dépend du type et de la longueur du trajet et de divers éléments de données concernant la hauteur, éléments qui parfois ne sont pas tous connus.

Pour les trajets maritimes, h_1 est la hauteur de l'antenne au-dessus du niveau de la mer.

Pour les trajets terrestres, la hauteur équivalente, h_{eff} , de l'antenne émettrice/de base est définie comme étant sa hauteur en mètres au-dessus du niveau moyen du sol entre une distance comprise entre 3 km et 15 km de cette antenne dans la direction de l'antenne réceptrice/mobile. Lorsque la valeur de la hauteur équivalente de l'antenne émettrice/de base, h_{eff} , n'est pas connue, elle doit être évaluée à partir des données géographiques générales.

La valeur de h_1 à utiliser dans les calculs doit être obtenue en utilisant la méthode donnée aux § 3.1, 3.2 ou 3.3 selon le cas.

3.1 Trajets terrestres inférieurs à 15 km

Pour les trajets terrestres inférieurs à 15 km, l'une des deux méthodes suivantes doit être utilisée:

3.1.1 Absence de données topographiques

Lorsque pour les prévisions, on ne dispose pas de données topographiques, la valeur de h_1 est calculée selon la longueur de trajet, d , comme suit:

$$h_1 = h_a \quad \text{m} \quad \text{pour} \quad d \leq 3 \text{ km} \quad (4)$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a)(d - 3)/12 \quad \text{m} \quad \text{pour} \quad 3 \text{ km} < d < 15 \text{ km} \quad (5)$$

où h_a est la hauteur d'antenne au-dessus du sol (par exemple, hauteur du pylône).

3.1.2 Données topographiques disponibles

Lorsque pour les prévisions, des données topographiques sont disponibles, h_1 est donné par la relation:

$$h_1 = h_b \quad \text{m} \quad (6)$$

où h_b est la hauteur de l'antenne au-dessus de la hauteur du terrain moyennée entre $0,2 d$ et d km. Il est à noter que, lorsque cette méthode est utilisée pour déterminer h_1 , la modélisation du champ prévu en fonction de la distance ne sera peut-être pas monotone, jusqu'à une distance de 15 km. Si cette situation peut se produire dans la réalité, il peut s'agir d'une modélisation indésirable pour certaines applications. Par conséquent, s'il faut éviter toute modélisation non monotone, il convient dans ce cas de donner à h_1 une valeur représentative.

3.2 Trajets terrestres de 15 km ou plus

Pour ces trajets:

$$h_1 = h_{eff} \quad \text{m} \quad (7)$$

3.3 Trajets maritimes

Le paramètre h_1 pour un trajet intégralement maritime est la hauteur physique de l'antenne au-dessus du niveau de la mer. La présente Recommandation n'est pas fiable dans le cas d'un trajet maritime pour des valeurs de h_1 inférieures à 3 m et il convient d'observer une limite inférieure absolue de 1 m.

4 Application de la hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base

La valeur de h_1 détermine la ou les courbes qui seront choisies et à partir desquelles on obtiendra les valeurs du champ, et on effectuera une interpolation ou une extrapolation si nécessaire. On distingue les cas suivants.

4.1 La hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base est comprise entre 10 m et 3 000 m

Si la valeur de h_1 coïncide avec l'une des huit hauteurs pour lesquelles les courbes sont établies, à savoir 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 ou 1 200 m, la valeur du champ recherchée sera obtenue directement sur les courbes ou dans les tableaux associés. Dans les autres cas, la valeur du champ recherchée doit être interpolée ou extrapolée à partir des champs obtenus à partir de deux courbes au moyen de la formule suivante:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (h_1 / h_{inf}) / \log (h_{sup} / h_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (8)$$

dans laquelle:

h_{inf} : 600 m si $h_1 > 1\,200$ m, ou la hauteur apparente nominale la plus proche en dessous de h_1 dans les autres cas

h_{sup} : 1 200 m si $h_1 > 1\,200$ m, dans les autres cas la hauteur équivalente nominale la plus proche en dessous de h_1

E_{inf} : valeur du champ pour h_{inf} à la distance spécifiée

E_{sup} : valeur du champ pour h_{sup} à la distance spécifiée.

La valeur du champ obtenue par extrapolation pour $h_1 > 1\,200$ m doit être limitée si nécessaire afin qu'elle ne dépasse pas le maximum défini au § 2.

La présente Recommandation n'est pas applicable aux valeurs de $h_1 > 3\,000$ m.

4.2 La hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base est comprise entre 0 m et 10 m

La méthode lorsque h_1 est inférieur à 10 m dépend de la nature du trajet, à savoir si celui-ci est terrestre ou maritime.

Pour un trajet terrestre:

Pour un trajet terrestre, le champ à une distance spécifiée de d km pour des valeurs de $0 \leq h_1 < 10$ m, est calculé comme suit:

$$E = E_{zero} + 0,1 h_1 (E_{10} - E_{zero}) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (9)$$

où:

$$E_{zero} = E_{10} + 0,5 (C_{1020} + C_{h1neg10}) \text{ dB}(\mu\text{V/m}) \quad (9a)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \quad \text{dB} \quad (9b)$$

$C_{h1neg10}$: correction C_{h1} en dB calculée en utilisant la formule (12) au § 4.3 ci-après à la distance spécifiée pour $h_1 = -10$ m

E_{10} et E_{20} : champs en dB(μ V/m) calculés conformément au § 4.1 ci-dessus à la distance spécifiée respectivement pour $h_1 = 10$ m et $h_1 = 20$ m.

A noter que les corrections C_{1020} et $C_{h1neg10}$ doivent prendre toutes deux des valeurs négatives.

Pour un trajet maritime:

Il faut noter que pour un trajet maritime, h_1 ne doit pas être inférieur à 1 m. La procédure exige de connaître la distance à laquelle le trajet présente un dégagement précisément égal à 0,6 fois la première zone de Fresnel par rapport à la surface de la mer. Cette distance est donnée par la relation:

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \quad \text{km} \quad (10a)$$

où f est la fréquence nominale (MHz) et où la fonction D_{06} est définie au § 17.

Si $d > D_{h1}$ il sera aussi nécessaire de calculer la distance correspondant à un dégagement de 0,6 fois la zone de Fresnel pour un trajet où la hauteur d'antenne émettrice/de base est de 20 m, celle-ci est donnée par:

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \quad \text{km} \quad (10b)$$

Le champ à la distance d choisie et pour la valeur h_1 choisie est alors donné par les relations suivantes:

$$E = E_{max} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour} \quad d \leq D_{h1} \quad (11a)$$

$$= E_{Dh1} + (E_{D20} - E_{Dh1}) \log(d / D_{h1}) / \log(D_{20} / D_{h1}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour} \quad D_{h1} < d < D_{20} \quad (11b)$$

$$= E' (1 - F_s) + E'' F_s \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour} \quad d \geq D_{20} \quad (11c)$$

où:

E_{max} : champ maximal à la distance spécifiée donné au § 2

E_{Dh1} : E_{max} pour la distance D_{h1} tel que donné au § 2

E_{D20} : $E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20})) \log(h_1/10)/\log(20/10)$

$E_{10}(x)$: champ pour $h_1 = 10$ m, interpolé pour la distance x

$E_{20}(x)$: champ pour $h_1 = 20$ m, interpolé pour la distance x

E' : $E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d)) \log(h_1/10)/\log(20/10)$

E'' : champ à la distance d calculée en utilisant la formule (9)

F_s : $(d - D_{20})/d$.

4.3 La hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base est négative

Pour les trajets terrestres, il est possible d'avoir une hauteur équivalente h_{eff} de l'antenne émettrice/de base négative, étant donné qu'elle est établie à partir de la hauteur moyenne du terrain à des distances comprises entre 3 et 15 km. Ainsi, h_1 peut être négative. Dans ce cas, il convient de tenir compte de l'effet de la diffraction par des obstacles de terrain proches.

La procédure à appliquer pour les valeurs négatives de h_1 consiste à obtenir le champ pour $h_1 = 0$ tel que décrit au § 4.2, et à ajouter une correction C_{h1} calculée comme suit.

Il convient de tenir compte de l'affaiblissement par diffraction en apportant une correction C_{h1} obtenue comme indiqué dans les cas a) ou b) suivants:

- a) Lorsqu'on dispose d'une base de données topographiques et que le potentiel de discontinuité à la transition au voisinage de $h_1 = 0$ n'intervient pas dans l'application de cette Recommandation, l'angle de dégagement du terrain, θ_{eff1} , depuis l'antenne émettrice/de base doit être calculé comme étant l'angle d'élévation de la droite qui se trouve en limite de dégagement de tous les obstacles du terrain jusqu'à une distance de 15 km de l'antenne émettrice/de base dans la direction (mais pas au-delà) de l'antenne réceptrice/mobile. Cet angle de dégagement, qui aura une valeur positive, doit être utilisé en lieu et place de θ_{tca} dans la formule (32c) de la méthode de correction de l'angle de dégagement du terrain donnée au § 11 afin d'obtenir C_{h1} . A noter que l'utilisation de cette méthode peut entraîner une discontinuité du champ à la transition au voisinage de $h_1 = 0$.
- b) Lorsqu'on ne dispose pas d'une base de données topographiques ou que l'on dispose d'une base de données topographiques mais que la méthode ne doit jamais produire de discontinuité de champ à la transition au voisinage de $h_1 = 0$, l'angle de dégagement équivalent du terrain (positif) θ_{eff2} peut être calculé en partant de l'hypothèse d'un obstacle de hauteur h_1 à une distance de 9 km de l'antenne émettrice/de base. A noter que cela s'applique à toutes les longueurs de trajet, même inférieures à 9 km. C'est-à-dire que l'on considère le sol comme formant une arête irrégulière sur une distance comprise entre 3 et 15 km depuis l'antenne émettrice/de base, et de hauteur moyenne égale à la hauteur à 9 km, comme indiqué à la Fig. 25. Cette méthode tient moins explicitement compte des variations de relief, mais elle garantit qu'il n'y a pas de discontinuité de champ à la transition au voisinage de $h_1 = 0$. La correction à ajouter au champ dans ce cas est calculée comme suit:

$$C_{h1} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad (12)$$

où:

$$J(v) = \left[6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \right] \quad \text{pour } v > -0,7806 \quad (12a)$$

$$J(v) = 0 \quad \text{dans les autres cas} \quad (12b)$$

$$v = K_v \theta_{eff2} \quad (12c)$$

et

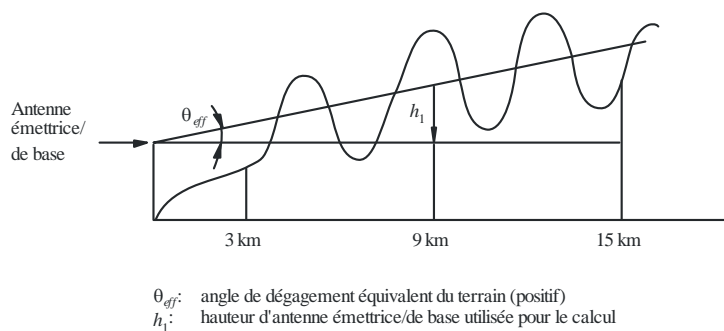
$$\theta_{eff2} = \arctan(-h_1 / 9\,000) \quad \text{degrés} \quad (12d)$$

$$K_v = 1,35 \quad \text{pour 100 MHz}$$

$$K_v = 3,31 \quad \text{pour 600 MHz}$$

$$K_v = 6,00 \quad \text{pour 2\,000 MHz}$$

FIGURE 25

Angle de dégagement équivalent pour $h_1 < 0$ 

P.1546-25

Cette correction, qui est toujours inférieure à zéro, est ajoutée à la valeur du champ obtenue pour $h_1 = 0$.

5 Interpolation du champ en fonction de la distance

Les Fig. 1 à 24 montrent les courbes de champ en fonction de la distance pour des distances d comprises entre 1 km et 1 000 km. Aucune interpolation en distance n'est nécessaire si les champs sont directement lus sur ces courbes. Pour améliorer la précision, et aussi pour pouvoir procéder à une mise en œuvre informatisée, les valeurs du champ doivent être celles extraites des tableaux concernés (voir le § 3 de l'Annexe 1). Dans ce cas, à moins que d coïncide avec l'une des distances du Tableau 1, le champ E , (dB(μ V/m)) doit être calculé par interpolation linéaire du logarithme de la distance en utilisant la relation suivante:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d / d_{inf}) / \log(d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (13)$$

où:

- d : distance à laquelle la prévision est demandée
- d_{inf} : distance du tableau immédiatement inférieure à d
- d_{sup} : distance du tableau immédiatement supérieure à d
- E_{inf} : champ correspondant à d_{inf}
- E_{sup} : champ correspondant à d_{sup} .

Cette Recommandation n'est pas valable pour les valeurs de d supérieures à 1 000 km.

6 Interpolation et extrapolation des champs en fonction de la fréquence

Les champs pour la fréquence requise doivent être calculés par interpolation entre les valeurs nominales des fréquences suivantes: 100, 600 et 2 000 MHz. Dans le cas de fréquences inférieures à 100 MHz ou supérieures à 2 000 MHz, l'interpolation doit être remplacée par une extrapolation à partir des deux fréquences nominales les plus proches. Pour la plupart des trajets, l'interpolation ou l'extrapolation de \log (fréquence) peut être utilisée, mais sur certains trajets maritimes lorsque la fréquence considérée est inférieure à 100 MHz il faut utiliser une autre méthode.

Pour les trajets terrestres, et pour les trajets maritimes lorsque la fréquence considérée est supérieure à 100 MHz, la valeur E du champ recherchée doit être calculée en utilisant la formule:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (14)$$

dans laquelle:

- f : fréquence pour laquelle la prévision est demandée (MHz)
- f_{inf} : fréquence nominale inférieure (100 MHz si $f < 600$ MHz; 600 MHz sinon)
- f_{sup} : fréquence nominale supérieure (600 MHz si $f < 600$ MHz; 2 000 MHz sinon)
- E_{inf} : champ correspondant à f_{inf}
- E_{sup} : champ correspondant à f_{sup} .

Le champ obtenu par extrapolation des fréquences au-dessus de 2 000 MHz doit être limité si nécessaire de manière à ne pas dépasser la valeur maximale donnée au § 2.

Pour les trajets maritimes où la fréquence considérée est inférieure à 100 MHz, une autre méthode doit être utilisée. Cette méthode se fonde sur la détermination de la distance à laquelle le trajet présente un dégagement exactement égal à 0,6 fois la première zone de Fresnel par rapport à la surface de la mer. Une méthode approximative de calcul de cette distance est donnée au § 17.

L'autre méthode doit être utilisée si toutes les conditions suivantes sont vérifiées:

- Le trajet est un trajet maritime.
- La fréquence considérée est inférieure à 100 MHz.
- La distance considérée est inférieure à la distance à laquelle le trajet maritime présenterait un dégagement égal à 0,6 fois la zone de Fresnel à 600 MHz, donnée par $D_{06}(600, h_1, 10)$ comme indiqué au § 17.

Si l'une quelconque des conditions ci-dessus n'est pas vérifiée, la méthode normale d'interpolation/d'extrapolation donnée par la formule (14) doit être utilisée.

Si toutes les conditions ci-dessus sont vérifiées, le champ E peut être calculé en utilisant les formules suivantes:

$$E = E_{max} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour } d \leq d_f \quad (15a)$$

$$= E_{d_f} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \log(d / d_f) / \log(d_{600} / d_f) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{pour } d > d_f \quad (15b)$$

dans lesquelles:

- E_{max} : champ maximum à la distance considérée, tel que défini au § 2
- E_{d_f} : champ maximum à la distance d_f , tel que défini au § 2
- d_{600} : distance à laquelle le trajet a un dégagement de 0,6 fois la zone de Fresnel à 600 MHz, calculée par $D_{06}(600, h_1, 10)$ tel qu'indiqué au § 17
- d_f : distance à laquelle le trajet a un dégagement de 0,6 fois la zone de Fresnel à la fréquence considérée, calculée par $D_{06}(f, h_1, 10)$ tel qu'indiqué au § 17
- $E_{d_{600}}$: champ à la distance d_{600} à la fréquence considérée, calculé en utilisant la formule (14).

7 Interpolation du champ en fonction du pourcentage de temps

Les valeurs de champ pour un pourcentage de temps donné compris entre 1% et 50% doivent être calculées par interpolation entre les valeurs nominales 1% et 10% ou entre les valeurs nominales 10% et 50% au moyen de la relation:

$$E = E_{sup} (Q_{inf} - Q_t) / (Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf} (Q_t - Q_{sup}) / (Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (16)$$

dans laquelle:

- t : pourcentage du temps pour lequel la prévision est demandée
- t_{inf} : pourcentage de temps nominal inférieur
- t_{sup} : pourcentage de temps nominal supérieur
- Q_t : $Q_i(t/100)$
- Q_{inf} : $Q_i(t_{inf}/100)$
- Q_{sup} : $Q_i(t_{sup}/100)$
- E_{inf} : valeur du champ pour le pourcentage de temps t_{inf}
- E_{sup} : valeur du champ pour le pourcentage de temps t_{sup}

où $Q_i(x)$ est la fonction de distribution inverse normale cumulative complémentaire.

Cette Recommandation est applicable aux valeurs du champ dépassées pendant des pourcentages de temps compris entre 1% et 50% uniquement. L'extrapolation en dehors de la plage 1% à 50% n'est pas valable.

Une approximation de la fonction $Q_i(x)$ est donnée au § 16.

TABLEAU 1
Distances utilisées dans les tableaux donnant les champs (km)

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1 000

8 Trajets mixtes

La description suivante de la méthode pour trajet mixte utilise les paramètres $E_{land}(d)$ et $E_{sea}(d)$ pour représenter le champ à une distance d par rapport à l'antenne émettrice/de base à une hauteur d'obstacle représentative au niveau de l'antenne réceptrice/mobile R_2 pour des trajets uniquement terrestres et uniquement maritimes respectivement, avec interpolation/extrapolation pour la hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base, de la fréquence ou du pourcentage de temps selon le cas.

Il convient de suivre les étapes suivantes pour déterminer le champ sur un trajet quelconque constitué à la fois de parties terrestres et de parties maritimes. Si le trajet contient à la fois des parties à mer chaude et des parties à mer froide, les courbes relatives aux mers froides doivent être utilisées lors du calcul de $E_{sea}(d)$. Il convient de calculer la valeur de h_1 conformément aux indications du § 3 de

l'Annexe 5, la hauteur de la surface de la mer étant prise égale à celle du terrain. On utilise généralement cette valeur de h_1 pour $E_{land}(d)$ et pour $E_{sea}(d)$. Toutefois, si la hauteur h_1 est inférieure à 3 m, il faut toujours utiliser cette valeur pour $E_{land}(d)$, mais conserver 3 m pour $E_{sea}(d)$.

Le champ pour un trajet mixte, E , est donné par la formule suivante:

$$E = (1-A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \quad (17)$$

le facteur d'interpolation pour un trajet mixte, A , étant donné par:

$$A = A_0 (F_{sea})^V \quad (18)$$

où F_{sea} est le tronçon du trajet au-dessus de la mer et $A_0(F_{sea})$ est le facteur d'interpolation de base tel qu'indiqué dans la Fig. 26, donné par:

$$A_0(F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3} \quad (19)$$

et V est calculé à l'aide de l'expression:

$$V = \max \left[1, 0, 1, 0 + \frac{\Delta}{40,0} \right] \quad (20)$$

avec:

$$\Delta = E_{sea}(d_{total}) - E_{land}(d_{total}) \quad (21)$$

La partie suivante jusqu'à la formule (26) se rapporte uniquement à la méthode de prévision de la propagation approuvée par la Conférence régionale des radiocommunications (CRR-06) et pas à la présente Recommandation.

Ces éléments complètent l'examen de la méthode pour les trajets mixtes utilisant les courbes de base figurant dans les Annexes 2-4. Toutefois, le type terrestre côtière des cartes de zones côtières de la carte mondiale numérisée de l'UIT (IDWM) ne doit pas être interprété comme correspondant à des zones terrestres côtières dans le contexte suivant.

La méthode pour les trajets mixtes, donnée par la formule (17), est une méthode générale qui peut aussi être appliquée à des situations dans lesquelles des familles de courbes du champ sont définies pour diverses zones de propagation. (Par exemple, différentes zones de propagation peuvent être spécifiées par des modifications des courbes de champ de base, comme indiqué dans les Annexes 2-4, à l'aide de la méthode décrite dans l'Annexe 7, ou d'une autre méthode de spécification de zone, comme celle décrite dans l'Accord GE06. Ces différentes spécifications de zone peuvent, éventuellement, englober des zones terrestres côtières, toutefois elles sont définies comme des zones de propagation distinctes, avec des conditions de propagation qui s'appliquent davantage à des trajets maritimes qu'à des trajets terrestres.) S'il est en outre nécessaire de calculer la valeur du champ pour un trajet mixte traversant deux ou plus de deux zones de propagation différentes, il est alors recommandé d'utiliser la méthode des trajets mixtes suivante:

- a) pour toutes les fréquences et tous les pourcentages de temps et pour les combinaisons de zones de propagation qui ne comportent pas de transitions terre/mer ou terre/côte, on utilisera la méthode de calcul du champ suivante:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}) \quad (22)$$

où:

E : champ pour le trajet mixte (dB(μ V/m))

$E_i(d_{total})$: champ pour le trajet dans la zone i égal en longueur au trajet mixte (dB(μ V/m))

d_i : longueur du trajet dans la zone i

d_{total} : longueur totale du trajet;

- b) pour toutes les fréquences et tous les pourcentages de temps et pour les combinaisons de zones de propagation qui font intervenir une seule catégorie de propagation sur trajet terrestre ou une seule catégorie de propagation sur trajet maritime ou terrestre côtier, il convient d'utiliser la formule (22);
- c) pour toutes les fréquences et tous les pourcentages de temps et pour les combinaisons de trois ou plus de trois zones de propagation qui font intervenir au moins une transition terre/mer ou terre/terre côte, on utilisera la méthode de calcul du champ suivante:

$$E = (1-A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}} \quad (23)$$

où:

E : champ pour le trajet mixte (dB(μ V/m))

$E_{land,i}$: champ pour le trajet terrestre i égal en longueur au trajet mixte, $i = 1, \dots, n_l$; n_l est le nombre de zones terrestres traversées (dB(μ V/m))

$E_{sea,j}$: champ pour le trajet maritime et terrestre côtier j égal en longueur au trajet mixte, $j = 1, \dots, n_s$; n_s est le nombre de zones maritimes et terrestres côtières traversées (dB(μ V/m))

A : facteur d'interpolation donné au § 8.1 (à noter que le tronçon du trajet au-dessus de la mer est calculé comme étant: $\frac{d_{sT}}{d_{total}}$)

d_i, d_j : longueur du trajet dans la zone i , ou dans la zone j

d_{lT} : longueur totale du trajet terrestre = $\sum_{i=1}^{n_l} d_i$

d_{sT} : longueur totale du trajet maritime et terrestre côtier = $\sum_{j=1}^{n_s} d_j$

d_{total} : longueur totale du trajet de propagation = $d_{lT} + d_{sT}$.

8.1 Facteur d'interpolation pour trajet mixte applicable à la méthode approuvée par la CRR-06

On utilisera la notation suivante:

N_s : nombre total de zones maritimes et de zones terrestres côtières

n : numéro de la zone traversée par le trajet maritime ou le trajet terrestre côtier; $n = 1, 2, \dots, N_s$

M_l : nombre total de zones terrestres

m : numéro de la zone traversée par le trajet terrestre; $m = 1, 2, \dots, M_l$

d_{sn} : distance traversée dans la zone maritime ou terrestre côtière n (km)

d_{lm} : distance traversée dans la zone terrestre m (km).

Alors:

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} : \text{longueur totale des trajets maritimes et terrestres côtiers traversés} \quad (24a)$$

$$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm} : \text{longueur totale des trajets terrestres traversés} \quad (24b)$$

$$d_{total} = d_{sT} + d_{lT} : \text{longueur totale du trajet de propagation} \quad (24c)$$

On a besoin des valeurs du champ suivantes:

$E_{sn}(d_{total})$: valeur du champ (dB(μ V/m)) pour une distance d_{total} , dans l'hypothèse où le trajet est entièrement situé dans une zone de type maritime ou terrestre côtière n

$E_{lm}(d_{total})$: valeur du champ (dB(μ V/m)) pour une distance d_{total} , dans l'hypothèse où le trajet est entièrement situé dans une zone de type terrestre m .

Le facteur d'interpolation¹, A , est donné par les formules (18) à (20), mais le tronçon du trajet au-dessus de la mer, F_{sea} , utilisé dans la Fig. 26 et la formule (18), est donné par:

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_{total}} \quad (25)$$

et Δ , utilisé dans la formule (20), est à présent donné par:

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_{total}) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_{total}) \frac{d_{lm}}{d_{lT}} \quad (26)$$

La Fig. 26 illustre $A_0(F_{sea})$, applicable à tous les pourcentages de temps.

¹ Le facteur d'interpolation s'applique à toutes les fréquences et à tous les pourcentages de temps. Il convient de noter que l'interpolation ne s'applique qu'aux:

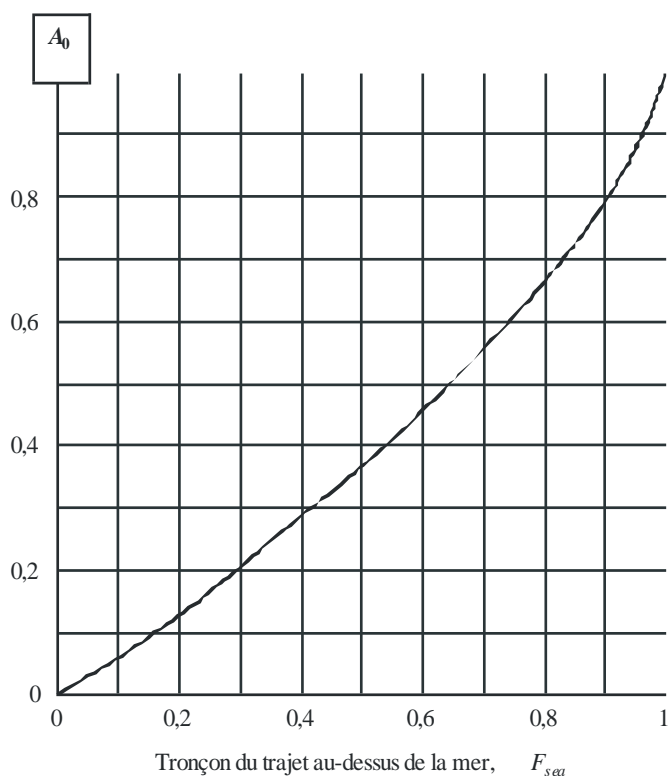
- trajets terrestres-maritimes
- trajets terrestres/terrestres-côtiers
- trajets terrestres (maritimes-terrestres côtiers)

et non aux:

- trajets terrestres-terrestres
- ou toute combinaison de trajets maritimes et/ou terrestres côtiers.

FIGURE 26

Facteur d'interpolation de base A_0 ,
pour une propagation sur trajet mixte



P.1546-26

Fin de la partie concernant la méthode de prévision de la propagation approuvée uniquement par la Conférence régionale des radiocommunications (CRR-06).

9 Correction liée à la hauteur de l'antenne réceptrice/mobile

Dans les courbes terrestres et les tableaux figurant dans la présente Recommandation, les champs sont donnés pour une antenne réceptrice/mobile de référence à une hauteur égale à la hauteur R_2 représentative des obstacles sur le sol autour de l'antenne réceptrice/mobile ou à 10 m, la valeur la plus élevée étant retenue. Voici quelques exemples de hauteurs de référence: 15 m pour les zones urbaines, 20 m pour une zone urbaine dense et 10 m pour une zone suburbaine. Pour les trajets maritimes la valeur théorique de R_2 est de 10 m.

Lorsque l'antenne réceptrice/mobile est sur terre, il convient de tenir tout d'abord compte de l'angle d'élévation de l'onde incidente en calculant une hauteur d'obstacle R_2' modifiée représentative donnée par la formule:

$$R_2' = (1000 d R_2 - 15 h_1) / (1000 d - 15) \quad \text{m} \quad (27)$$

où h_1 et R_2 sont en mètres, et la distance horizontale d est en km. La hauteur d'obstacle représentative R_2' est calculée de manière à correspondre à la hauteur de référence d'un récepteur situé 15 m derrière l'obstacle et recevant le signal de l'émetteur en incidence rasante.

La hauteur représentative R_2' correspond à la hauteur de référence à laquelle un récepteur recevrait un signal en incidence rasante ($v = 0$).

A noter que pour $h_1 < 6,5d + R_2$, $R_2' \approx R_2$.

La valeur de R_2' doit être limitée si nécessaire de manière à ne pas être inférieure à 1 m.

Lorsque l'antenne réceptrice/mobile se trouve dans un environnement urbain, les corrections appliquées sont données par:

$$\text{Correction} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad \text{pour } h_2 < R_2' \quad (28a)$$

$$= K_{h_2} \log(h_2 / R_2') \quad \text{dB} \quad \text{pour } h_2 \geq R_2' \quad (28b)$$

où $J(v)$ est donné par la formule (12a),

et:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif2} \theta_{clut2}} \quad (28c)$$

$$h_{dif2} = R_2' - h_2 \quad \text{m} \quad (28d)$$

$$\theta_{clut2} = \arctan(h_{dif2} / 27) \quad \text{degrés} \quad (28e)$$

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad (28f)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (28g)$$

f : fréquence (MHz).

Dans le cas d'un environnement urbain où R_2' est inférieur à 10 m, le facteur de correction donné dans la formule (28a) ou (28b) devrait être réduit de $K_{h_2} \log(10/R_2')$.

Lorsque l'antenne de la station de réception/mobile est sur terre dans un environnement rural ou ouvert, le facteur de correction est donné par la formule (28b) pour toutes les valeurs de h_2 , R_2' étant égal à 10 m.

Dans la suite du document, l'expression «adjacent à la mer» s'applique aux cas où l'antenne réceptrice/mobile est au-dessus de la mer ou immédiatement adjacente à la mer, et où il n'y a pas d'obstacle important en direction de la station de base ou de la station d'émission.

Lorsque l'antenne réceptrice/mobile est adjacente à la mer pour $h_2 \geq 10$ m, la correction doit être calculée au moyen de la formule (28b), R_2' étant égal à 10 m.

Lorsque l'antenne réceptrice/mobile est adjacente à la mer pour $h_2 < 10$ m, une autre méthode doit être utilisée, cette méthode étant fondée sur la détermination de la distance à laquelle le trajet présente un dégagement exactement égal à 0,6 fois la première zone de Fresnel par rapport à la surface de la mer. Une méthode approximative de calcul de cette distance est donnée au § 18.

La distance à laquelle le trajet présenterait un dégagement exactement égal à 0,6 fois la zone de Fresnel pour la valeur requise de h_1 et pour $h_2 = 10$ m, d_{10} , doit être calculée comme étant donné par $D_{06}(f, h_1, 10)$ au § 18.

Si la distance considérée est égale ou supérieure à d_{10} , il convient à nouveau de calculer la correction pour la valeur considérée de h_2 au moyen de la formule (28b), R_2' étant égal à 10 m.

Si la distance considérée est inférieure à d_{10} , il faut calculer la correction à ajouter au champ E en utilisant les relations suivantes:

$$\text{Correction} = 0,0 \quad \text{dB} \quad \text{pour } d \leq d_{h_2} \quad (29a)$$

$$= C_{10} \log(d / d_{h_2}) / \log(d_{10} / d_{h_2}) \quad \text{dB} \quad \text{pour } d_{h_2} < d < d_{10} \quad (29b)$$

où:

C_{10} : correction pour la valeur considérée de h_2 à la distance d_{10} calculée au moyen de la formule (28b), R_2' étant égal à 10 m

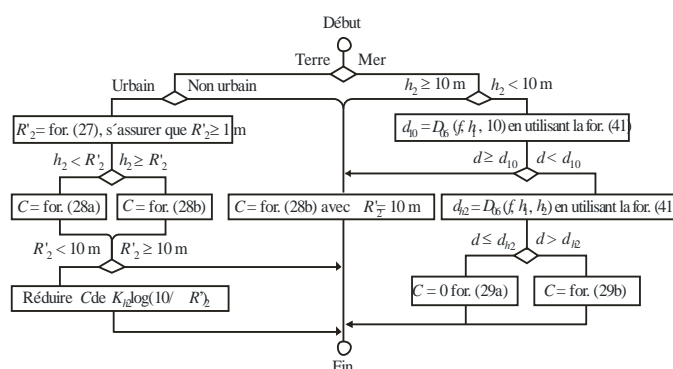
d_{10} : distance à laquelle le trajet présente un dégagement de 0,6 fois la zone de Fresnel pour $h_2 = 10$ m, calculée par $D_{06}(f, h_1, 10)$ tel qu'indiqué au § 18

d_{h_2} : distance à laquelle le trajet présente un dégagement exactement égal à 0,6 fois la zone de Fresnel pour la valeur considérée de h_2 , calculée par $D_{06}(f, h_1, h_2)$ tel qu'indiqué au § 18.

La présente Recommandation n'est pas valable pour des hauteurs h_2 d'antenne réceptrice/mobile inférieures à 1 m lorsqu'elles sont adjacentes à la partie terrestre ou inférieures de 3 m lorsqu'elles sont adjacentes à la partie maritime.

La correction à utiliser pour la hauteur de l'antenne réceptrice/mobile peut être résumé par le diagramme donné dans la Fig. 27.

FIGURE 27
Diagramme pour la correction liée à la hauteur de l'antenne réceptrice/mobile



P.1546-27

10 Correction pour un émetteur occulté

Cette correction ne s'applique pas pour un émetteur dégagé/non occulté, mais elle doit être utilisée dans tous les autres cas, y compris lorsque l'antenne est située au-dessus de la hauteur de l'obstacle. La correction est nulle lorsque le terminal dépasse l'obstacle d'une hauteur supérieure à une hauteur de dégagement en fonction de la fréquence.

$$\text{Correction} = -J(v) \quad \text{dB} \quad (30a)$$

où $J(v)$ est donné par la formule (12a) ou (12b),

et:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{pour } R_1 \geq h_a \quad (30b)$$

$$= -K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{dans les autres cas} \quad (30c)$$

$$h_{dif1} = h_a - R_1 \quad \text{m} \quad (30d)$$

$$\theta_{clut1} = \arctan(h_{dif1} / 27) \quad \text{degrés} \quad (30e)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (30f)$$

f : fréquence (MHz).

Et R_1 est la hauteur de l'obstacle, en m au-dessus du niveau du sol, au voisinage du terminal émetteur/de base.

11 Correction sur la base de l'angle de dégagement du terrain

Pour les trajets terrestres et lorsque l'antenne réceptrice/mobile se trouve sur une partie terrestre d'un trajet mixte, si une plus grande précision est requise pour la prédiction du champ pour des conditions de réception dans des zones spécifiques, par exemple de petites zones de réception, une correction peut être effectuée sur la base d'un angle de dégagement du terrain θ_{tca} donné par:

$$\theta_{tca} = \theta \quad \text{degrés} \quad (31)$$

où θ est l'angle d'élévation de la droite passant par l'antenne réceptrice/mobile qui se trouve juste au-dessus de tous les obstacles sur le terrain dans la direction de l'antenne émettrice/de base sur une distance pouvant atteindre 16 km mais n'allant pas au-delà de l'antenne émettrice/de base.

Dans le calcul de θ on ne devrait pas tenir compte de la courbure de la Terre. θ_{tca} devrait être limité de façon à ce qu'il ne soit pas inférieur à $+0,55^\circ$ ou supérieur à $+40,0^\circ$.

Lorsque les données relatives à l'angle de dégagement du terrain sont disponibles, la correction à ajouter au champ est calculée au moyen de la relation suivante:

$$\text{Correction} = j(v') - J(v) \quad \text{dB} \quad (32a)$$

dans laquelle $J(v)$ est donné par la formule (12a):

$$v' = 0,036 \sqrt{f} \quad (32b)$$

$$v = 0,065 \theta_{tca} \sqrt{f} \quad (32c)$$

θ_{tca} : angle de dégagement du terrain (degrés)

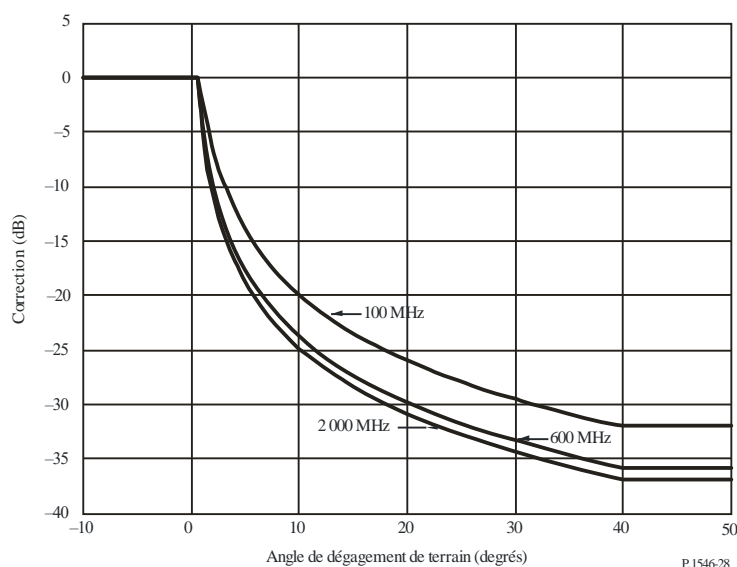
f : fréquence requise (MHz).

Il convient de noter que les courbes relatives au champ pour des trajets terrestres tiennent compte des affaiblissements dus à un effet d'occultation type de l'antenne réceptrice/mobile par un terrain faiblement ondulé. Ainsi, les corrections sur la base de l'angle de dégagement du terrain sont nulles pour un petit angle positif caractéristique des positions de l'antenne réceptrice/mobile.

La Fig. 28 illustre la correction de l'angle de dégagement du terrain aux fréquences nominales.

FIGURE 28

Correction sur la base de l'angle de dégagement du terrain (degrés)



P.1546-28

12 Variabilité en fonction de l'emplacement dans le cas de la prévision de la couverture d'une zone terrestre

Les méthodes de prévision de la couverture de zone ont pour objet de fournir des statistiques des conditions de réception dans une zone donnée, et non en un point particulier. L'interprétation de ces statistiques dépend des dimensions des zones considérées.

Si l'une des stations terminales d'un trajet radioélectrique est fixe et l'autre mobile, l'affaiblissement de transmission de référence varie continuellement avec l'emplacement, compte tenu de toutes les influences qui s'exercent. Il est commode de ranger ces influences en trois grandes catégories:

Variations dues à la propagation par trajets multiples: L'échelle des variations du signal est de l'ordre d'une longueur d'onde, du fait de l'addition vectorielle des effets des trajets multiples, par exemple les réflexions au sol, les bâtiments, etc. Les statistiques de ces variations suivent généralement une distribution de Rayleigh.

L'incidence de ces effets, qui dépend de la largeur de bande, de la modulation et du schéma de codage, variera selon les systèmes. Des lignes directrices sur la modélisation de ces effets sont données dans la Recommandation UIT-R P.1406.

Variations sur le trajet: Le signal subit aussi des variations dues à des modifications de la géométrie de l'ensemble du trajet de propagation, par exemple dues à la présence de collines. Pour ces trajets, sauf des trajets très courts, l'échelle de ces variations est nettement plus grande que dans le cas des obstacles locaux.

Variations dues aux obstacles locaux présents sur le terrain: Le signal subit des variations dues à l'obstruction imputable aux obstacles locaux proches, par exemple bâtiments, arbres, etc., l'échelle étant ici de l'ordre des dimensions de ces obstacles. L'échelle de ces variations est nettement plus grande que dans le cas des trajets multiples.

Dans la présente Recommandation, et en règle générale, la notion de variabilité en fonction de l'emplacement renvoie aux statistiques spatiales des variations liées à la présence d'obstacles locaux sur le sol. Ce résultat est utile pour des variations beaucoup plus importantes que celles liées à la présence d'obstacles sur le terrain et par rapport auxquelles les variations sur le trajet sont négligeables. Etant donné que, par définition, elle exclue les variations liées à la propagation par

trajets multiples, la variabilité en fonction des emplacements ne dépend pas de la largeur de bande du système.

La variabilité en fonction de l'emplacement a été définie de différentes façons. Dans certains cas, elle est définie par rapport à la variation de l'affaiblissement supplémentaire sur le trajet pour l'ensemble de la zone de service d'un émetteur, incluant ainsi tous les effets du terrain, en plus d'une occultation locale accentuée. Cette définition convient lorsqu'on applique le § 3.1.1 de l'Annexe 5 dans le cadre de la mise en œuvre de la présente Recommandation. Dans d'autres cas, la variabilité en fonction de l'emplacement est définie par rapport à la variabilité du champ sur une petite zone, représentée généralement par un carré dont le côté est compris entre 50 m et 1 km. Cette définition convient lorsqu'on utilise des données topographiques pour calculer h_1 , comme décrit au § 3.1.2 de l'Annexe 5.

Une étude approfondie des données montre qu'en raison des variations liées à la présence d'obstacles sur le terrain, la distribution du champ moyen local suit approximativement une distribution log normale.

Ainsi, pour un emplacement terrestre d'une antenne réceptrice/mobile, le champ E qui sera dépassé en $q\%$ des emplacements sera donné par la relation:

$$E(q) = E(\text{médian}) + Q_i(q/100)\sigma_L \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (33)$$

où:

$Q_i(x)$: distribution normale cumulative complémentaire inverse qui est fonction de la probabilité

σ_L : écart type de la distribution gaussienne de la moyenne locale dans la zone étudiée.

Une approximation de la fonction $Q_i(x)$ est donnée au § 16.

Les valeurs de l'écart type dépendent de la résolution de la prévision et de la fréquence, et des études empiriques ont fait apparaître un étalement. Lorsqu'on utilise des données topographiques et que l'on a besoin de la variation sur une petite zone, les valeurs représentatives de σ_L sont données par l'équation (34). Les valeurs représentatives correspondent au 50ème centile des distributions cumulatives de l'écart type mesuré de la variabilité en fonction de l'emplacement.

$$\sigma_L = \left(\frac{0,024f}{1\,000} + 0,52 \right) w_a^{0,28} \quad \text{dB} \quad (34)$$

où:

f : fréquence requise (MHz)

w_a : résolution de la prévision (m).

La résolution de la prédiction est la largeur de la zone carrée sur laquelle la variabilité s'applique.

Lorsqu'on utilise la présente Recommandation sans données topographiques, la variation dans la zone de service pourrait constituer une mesure plus appropriée de σ_L . Dans ce cas, on ne constate aucune dépendance vis-à-vis de la fréquence, mais le type d'environnement aura une incidence sur l'écart type des valeurs de variabilité en fonction de l'emplacement. Les valeurs représentatives de σ_L sont de 8, 10 et 12 dB respectivement pour les zones urbaines, suburbaines et dégagées.

Le pourcentage d'emplacements q peut varier entre 1 et 99. La présente Recommandation n'est pas applicable à des pourcentages d'emplacement inférieurs à 1% ou supérieurs à 99%. Les valeurs indiquées dans le Tableau 2 conviennent pour la planification des services de télévision numérique de Terre (DTT); elles correspondent au 93ème centile de la fonction de distribution cumulative des mesures pour une antenne à hauteur des toits pour une zone de 100×100 m.

TABLEAU 2

Valeurs de la variabilité utilisée dans certaines situations de planification

	Écart type (dB)		
	100 MHz	600 MHz	2 000 MHz
Radiodiffusion, DTT	5,5	5,5	5,5

13 Limitation du champ liée à la diffusion troposphérique

Il est possible que le champ calculé à l'aide des méthodes décrites aux § 1 à 12 de la présente Annexe soit sous-estimé du fait que la diffusion troposphérique n'est pas pleinement prise en compte.

Lorsque des données topographiques sont disponibles, il convient de calculer une estimation du champ liée à la diffusion troposphérique à l'aide de la procédure suivante. On peut ensuite utiliser cette estimation comme valeur plancher pour la prévision globale du champ (voir l'étape 13 de l'Annexe 6).

Calculer l'angle de diffusion sur le trajet, en degrés, θ_s , à l'aide de la formule suivante:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi k a} + \theta_{eff} + \theta \quad \text{degrés} \quad (35)$$

où:

- θ_{eff} : angle de dégagement du terrain du terminal h_1 , en degrés, calculé à l'aide de la méthode décrite au § 4.3 cas a), que h_1 soit négatif ou non (degrés)
- θ : angle de dégagement du terrain du terminal, h_2 , en degrés, calculé comme indiqué au § 11, sachant qu'il s'agit de l'angle d'élévation par rapport à l'horizon local (degrés)
- d : longueur du trajet (km)
- a : 6 370 km, rayon de la Terre
- k : 4/3, facteur lié au rayon équivalent de la Terre pour des conditions de coïndice moyen.

Si θ_s est inférieur à zéro, mettre θ_s égal à zéro.

Calculer le champ prévu pour la diffusion troposphérique, E_{ts} , à l'aide de la formule suivante:

$$E_{ts} = 24,4 - 20 \log(d) - 10 \theta_s - L_f + 0,15N_0 + G_t \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (36)$$

où:

$$L_f: \text{affaiblissement en fonction de la fréquence} \\ = 5 \log(f) - 2,5(\log(f) - 3,3)^2 \quad (36a)$$

N_0 : 325, coïndice moyen de réfraction à la surface, N -unités, typique des climats tempérés

$$G_t: \text{amélioration en fonction du temps} \\ = 10,1(-\log(0,02t))^{0,7} \quad (36b)$$

d : longueur du trajet ou distance requise (km)

f : fréquence requise (MHz)

t : pourcentage de temps requis.

14 Différence de hauteur entre les antennes

Une correction est nécessaire afin de tenir compte de la différence de hauteur entre les deux antennes. Cette correction est calculée comme suit.

$$\text{Correction} = 20 \log \left(\frac{d}{d_{slope}} \right) \quad \text{dB} \quad (37)$$

où d est la distance horizontale et la distance inclinée, d_{slope} , est calculée comme suit.

Lorsque des données topographiques sont disponibles, utiliser:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} [(h_a + h_{tter}) - (h_2 + h_{rter})]^2} \quad \text{km} \quad (37a)$$

En l'absence de données topographiques, utiliser:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} (h_a - h_2)^2} \quad \text{km} \quad (37b)$$

et h_{tter} et h_{rter} sont les hauteurs du terrain en mètres au-dessus du niveau de la mer respectivement au niveau du terminal émetteur/de base et du terminal récepteur/mobile.

La géométrie avec hypoténuse supposée par la formule (37a) est irréaliste dans le cas de trajets suffisamment longs pour que la courbure de la Terre soit significative, mais pour ce type de trajet long, l'erreur associée est négligeable. Bien que la correction donnée par la formule (37) soit très faible sauf pour les trajets courts et les valeurs élevées de h_1 , il est recommandé de l'utiliser dans tous les cas pour éviter de prendre une décision arbitraire quant à la précision.

15 Distances inférieures à 1 km

Les § 1 à 14 précédents décrivent la méthode permettant d'obtenir les champs à partir des familles de courbes pour des distances horizontales comprises entre 1 km et 1 000 km. Cette méthode fait intervenir une interpolation ou une extrapolation et diverses corrections. Si la distance horizontale requise est égale ou supérieure à 1 km, aucun autre calcul n'est nécessaire.

Pour les trajets de moins de 1 km, le modèle est élargi comme suit aux distances horizontales arbitrairement courtes:

Si la distance horizontale est inférieure ou égale à 0,04 km, le champ E est donné par:

$$E = 106,9 - 20 \log(d_{slope}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (38a)$$

Dans le cas contraire

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d_{slope}/d_{inf}) / \log(d_{sup}/d_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (38b)$$

où:

d_{slope} : distance inclinée donnée par la formule (37a) ou (37b) pour la distance horizontale requise d

d_{inf} : distance inclinée donnée par la formule (37a) ou (37b) pour $d = 0,04$ km

d_{sup} : distance inclinée donnée par la formule (37a) ou (37b) pour $d = 1$ km

E_{inf} : $106,9 - 20 \log(d_{inf})$

E_{sup} : champ donné par les § 1 à 14 pour $d = 1$ km.

Cet élargissement aux distances horizontales arbitrairement courtes repose sur l'hypothèse selon laquelle, à mesure que la longueur d'un trajet de moins de 1 km diminue, il est de plus en plus probable qu'il existe un trajet présentant un affaiblissement plus faible qui passe autour des obstacles et non au-dessus. Pour les trajets dont la distance horizontale est égale ou inférieure à 0,04 km, on suppose que les terminaux sont en visibilité directe avec un dégagement complet de la zone de Fresnel, et le champ est calculé égal à la valeur en espace libre sur la base de la distance inclinée.

Si ces hypothèses ne correspondent pas au scénario courte distance requis, il convient de procéder aux ajustements appropriés pour tenir compte d'effets tels que la propagation dans les rues-canyons, la pénétration dans les bâtiments, les tronçons de trajet à l'intérieur de bâtiments, ou les effets liés au corps humain.

Dans le cadre de cet élargissement aux courtes distances, le trajet peut éventuellement avoir une forte inclinaison, voire être vertical si $h_a > h_2$. Il est important de noter que le champ prévu ne tient pas compte du diagramme de rayonnement vertical de l'antenne émettrice/de base. Le champ correspond à une p.a.r. de 1 kW dans la direction du rayonnement.

16 Approximation de la fonction de distribution normale cumulative complémentaire inverse

L'approximation suivante de la fonction de distribution normale cumulative complémentaire inverse, $Q_i(x)$ est valable pour $0,01 \leq x \leq 0,99$:

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{si } x \leq 0,5 \quad (39a)$$

$$Q_i(x) = - \{ T(1 - x) - \xi(1 - x) \} \quad \text{si } x > 0,5 \quad (39b)$$

où:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (39c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (39d)$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308$$

Les valeurs obtenues au moyen des formules ci-dessus sont données dans le Tableau 3.

TABLEAU 3
Valeurs approximatives de la distribution normale
cumulative complémentaire inverse

q%	$Q_i(q/100)$	q%	$Q_i(q/100)$	q%	$Q_i(q/100)$	q%	$Q_i(q/100)$
1	2,327	26	0,643	51	-0,025	76	-0,706
2	2,054	27	0,612	52	-0,050	77	-0,739
3	1,881	28	0,582	53	-0,075	78	-0,772
4	1,751	29	0,553	54	-0,100	79	-0,806
5	1,645	30	0,524	55	-0,125	80	-0,841
6	1,555	31	0,495	56	-0,151	81	-0,878
7	1,476	32	0,467	57	-0,176	82	-0,915
8	1,405	33	0,439	58	-0,202	83	-0,954
9	1,341	34	0,412	59	-0,227	84	-0,994
10	1,282	35	0,385	60	-0,253	85	-1,036
11	1,227	36	0,358	61	-0,279	86	-1,080
12	1,175	37	0,331	62	-0,305	87	-1,126
13	1,126	38	0,305	63	-0,331	88	-1,175
14	1,080	39	0,279	64	-0,358	89	-1,227
15	1,036	40	0,253	65	-0,385	90	-1,282
16	0,994	41	0,227	66	-0,412	91	-1,341
17	0,954	42	0,202	67	-0,439	92	-1,405
18	0,915	43	0,176	68	-0,467	93	-1,476
19	0,878	44	0,151	69	-0,495	94	-1,555
20	0,841	45	0,125	70	-0,524	95	-1,645
21	0,806	46	0,100	71	-0,553	96	-1,751
22	0,772	47	0,075	72	-0,582	97	-1,881
23	0,739	48	0,050	73	-0,612	98	-2,054
24	0,706	49	0,025	74	-0,643	99	-2,327
25	0,674	50	0,000	75	-0,674		

17 Affaiblissement de transmission de référence équivalent

Si nécessaire, l'affaiblissement de transmission de référence équivalent est donné par la formule:

$$L_b = 139,3 - E + 20 \log f \quad \text{dB} \quad (40)$$

où:

L_b : affaiblissement de transmission de référence (dB)

E : champ (dB($\mu\text{V}/\text{m}$)) pour une p.a.r. de 1 kW

f : fréquence (MHz).

18 Approximation de la longueur de trajet pour un dégagement de 0,6 fois la zone de Fresnel

L'approximation de la longueur de trajet pour un dégagement exactement égal à 0,6 fois la première zone de Fresnel sur une terre régulièrement courbe, pour une fréquence spécifiée et des hauteurs d'antennes h_1 et h_2 , est donnée approximativement par la relation:

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (41)$$

où:

$$\begin{aligned} D_f: & \text{ terme dépendant de la fréquence} \\ & = 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{km} \end{aligned} \quad (41a)$$

$$\begin{aligned} D_h: & \text{ terme asymptotique défini par les distances de l'horizon} \\ & = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \end{aligned} \quad (41b)$$

f : fréquence (MHz)

h_1, h_2 : hauteurs d'antenne au-dessus d'une terre régulière (m).

Dans les formules ci-dessus, la valeur h_1 doit être limitée, si nécessaire, de manière à ne pas être inférieure à zéro. De plus, les valeurs résultantes de D_{06} doivent être limitées, si nécessaire, afin de ne pas être inférieures à 0,001 km.

Annexe 6

Procédure d'application de la présente Recommandation

La procédure pas à pas ci-dessous est destinée à être appliquée à des valeurs extraites des tableaux donnant le champ en fonction de la distance et qui sont disponibles auprès du BR. Elle peut cependant être appliquée à des valeurs extraites des courbes, auquel cas la procédure d'interpolation de la distance donnée à l'Étape 8.1.5 n'est pas nécessaire. Le Tableau 4 contient une liste minimale des paramètres d'entrée (et leurs limites) qui serviront de base pour calculer les valeurs à partir des tableaux donnant le champ en fonction de la distance. La procédure pas à pas est décrite ci-après.

TABLEAU 4

Liste des paramètres d'entrée et leurs limites

Paramètres	Définition	Limites
f (MHz)	Fréquence d'exploitation	30-4 000 MHz
d (km)	Longueur de trajet horizontale	Inférieure à 1 000 km
p (%)	Pourcentage de temps. Défini au § 8 de l'Annexe 1	1-50%

TABLEAU 4 (*fin*)

Paramètres	Définition	Limites
h_1 (m)	Hauteur de l'antenne émettrice/de base comme indiqué en référence dans les courbes. Définie dans les formules (4) à (7) au § 3 de l'Annexe 5 Les limites sont définies au § 4.1	Terre – pas de limite inférieure, limite supérieure de 3 000 m Mer – pas inférieure à 1 m, limite supérieure de 3 000 m
h_a (m)	Hauteur de l'antenne émettrice au-dessus du sol. Définie au § 3.1.1 de l'Annexe 5. Les limites sont définies au § 3 de l'Annexe 5	Supérieure à 1
h_b (m)	Hauteur de l'antenne de base au-dessus de la hauteur du terrain moyennée entre $0,2 d$ et d km, où d est inférieure à 15 km et où les données relatives au relief sont disponibles	Aucune – mais ce paramètre n'existe que pour les trajets terrestres où $d < 15$ km
h_2 (m)	Hauteur de l'antenne réceptrice/mobile au-dessus du sol. Définie au § 10 de l'Annexe 1	Terre – pas inférieure à 1 m, et inférieure à 3 000 m Mer – pas inférieure à 3 m, et inférieure à 3 000 m
R_1 (m)	Hauteur représentative des obstacles (autour de l'émetteur)	Aucune
R_2 (m)	Hauteur représentative des obstacles (autour du récepteur)	Aucune
θ_{ica} (degrés)	Angle de dégagement du terrain	0,55-40 degrés
θ_{eff} θ_{eff1} θ_{eff2} (degrés)	Angle de dégagement équivalent du terrain de l'antenne émettrice/de base, § 9 de l'Annexe 5.	Doit être positive

Si la distance horizontale requise est égale ou inférieure à 0,04 km, commencer à l'étape 17. Si la distance horizontale requise est supérieure à 0,04 km et inférieure à 1 km, il convient de suivre les étapes 1 à 16 avec d égal à 1 km, puis de suivre les étapes restantes avec d égal à la valeur requise. Dans les autres cas, il convient de suivre toutes les étapes avec d égal à la valeur requise.

Etape 1: Déterminer le type de trajet de propagation (terrestre, mer froide ou mer chaude). Si le trajet est mixte, déterminer les deux types de trajet qui peuvent être considérés comme relevant du premier et du deuxième type de propagation. Si le trajet peut être représenté par un seul type, on considérera qu'il relève du premier type de propagation et la méthode applicable aux trajets mixtes donnée à l'Etape 11 ne doit pas être appliquée.

Etape 2: Pour tout pourcentage de temps donné (compris entre 1% et 50% du temps), déterminer les deux pourcentages de temps nominaux comme suit:

- le pourcentage de temps spécifié est supérieur à 1 et inférieur à 10, les pourcentages nominaux supérieur et inférieur sont de 1 et de 10 respectivement;
- le pourcentage de temps spécifié est supérieur à 10 et inférieur à 50, les pourcentages nominaux supérieur et inférieur sont de 10 et 50 respectivement.

Si le pourcentage de temps spécifié est égal à 1%, à 10% ou à 50%, cette valeur doit être considérée comme étant le pourcentage nominal inférieur et le processus d'interpolation indiqué à l'Etape 10 ne doit pas être appliqué.

Etape 3: Pour toute fréquence spécifiée (comprise entre 30 et 4 000 MHz) déterminer les deux fréquences nominales comme suit:

- si la fréquence spécifiée est inférieure à 600 MHz, les fréquences nominales inférieure et supérieure sont de 100 et 600 MHz respectivement;
- si la fréquence spécifiée est supérieure à 600 MHz, les fréquences nominales inférieure et supérieure sont de 600 et 2 000 MHz respectivement.

Si la fréquence spécifiée est égale à 100, 600 ou 2 000 MHz, cette valeur doit être considérée comme étant la fréquence nominale inférieure et le processus d'interpolation/extrapolation de l'Etape 9 ne doit pas être utilisé.

Etape 4: Déterminer les distances nominales inférieures et supérieures du Tableau 1 qui sont les plus proches de la distance spécifiée. Si la distance spécifiée coïncide avec une valeur donnée dans le Tableau 1, celle-ci doit être considérée comme étant la distance nominale inférieure et le processus d'interpolation de l'Etape 8.1.5 ne doit pas être utilisé.

Etape 5: Pour le premier type de propagation suivre les Etapes 6 à 11.

Etape 6: Pour le pourcentage de temps nominal inférieur suivre les Etapes 7 à 10.

Etape 7: Pour la fréquence nominale inférieure suivre les Etapes 8 et 9.

Etape 8: Déterminer le champ dépassé en 50% des emplacements pour une antenne réceptrice/mobile à la hauteur R_2 représentative des obstacles au-dessus du sol pour la distance et la hauteur d'antenne émettrice/de base spécifiées, comme suit:

Etape 8.1: Pour une hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base égale ou supérieure à 10 m suivre les Etapes 8.1.1 à 8.1.6:

Etape 8.1.1: Déterminer les valeurs nominales de h_1 inférieures et supérieures au moyen de la méthode donnée au § 4.1 de l'Annexe 5. Si h_1 coïncide avec l'une des valeurs nominales 10; 20; 37,5; 75; 150; 300; 600 ou 1 200 m, cette valeur doit être prise comme la valeur nominale inférieure de h_1 et le processus d'interpolation de l'Etape 8.1.6 ne doit pas être appliqué.

Etape 8.1.2: Pour la valeur nominale inférieure de h_1 suivre les Etapes 8.1.3 à 8.1.5.

Etape 8.1.3: Pour la valeur nominale inférieure de la distance suivre l'Etape 8.1.4.

Etape 8.1.4: Déterminer le champ dépassé en 50% des emplacements pour une antenne réceptrice/mobile à la hauteur R_2 représentative des obstacles, pour les valeurs spécifiées de la distance d et de la hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base.

Etape 8.1.5: Si la distance spécifiée ne coïncide pas avec la distance nominale inférieure, répéter l'Etape 8.1.4 pour la distance nominale supérieure et effectuer l'interpolation des deux champs pour la distance considérée au moyen de la méthode donnée au § 5 de l'Annexe 5.

Etape 8.1.6: Si la hauteur spécifiée h_1 de l'antenne émettrice/de base ne coïncide pas avec l'une des valeurs nominales, répéter les Etapes 8.1.3 à 8.1.5 et effectuer une interpolation/extrapolation pour h_1 au moyen de la méthode donnée au § 4.1 de l'Annexe 5. Si nécessaire, limiter le résultat à la valeur maximale donnée au § 2 de l'Annexe 5.

Etape 8.2: Pour une hauteur h_1 de l'antenne émettrice/de base inférieure à 10 m, déterminer le champ pour la hauteur et la distance spécifiées au moyen de la méthode donnée au § 4.2 de l'Annexe 5. Si h_1 est inférieure à zéro, la méthode donnée au § 4.3 de l'Annexe 5 doit être appliquée.

Etape 9: Si la fréquence spécifiée ne coïncide pas avec la fréquence nominale inférieure, répéter l'Etape 8 pour la fréquence nominale supérieure et effectuer l'interpolation ou une extrapolation des deux champs au moyen de la méthode donnée au § 6 de l'Annexe 5. Si nécessaire, limiter le résultat au champ maximal tel qu'indiqué au § 2 de l'Annexe 5.

Etape 10: Si le pourcentage de temps spécifié ne coïncide pas avec le pourcentage de temps inférieur nominal, répéter les Etapes 7 à 9 pour le pourcentage de temps supérieur nominal et effectuer l'interpolation des deux champs au moyen de la méthode donnée au § 7 de l'Annexe 5.

Etape 11: Si la prévision concerne un trajet mixte, suivre la procédure pas à pas donnée au § 8 de l'Annexe 5. Cette opération nécessite l'exécution des Etapes 6 à 10 pour les trajets correspondant à chaque type de propagation. Il convient de noter que s'il existe différentes sections du trajet classifiées à la fois en mer froide et mer chaude, toutes les sections maritimes doivent être classifiées comme correspondant à des mers chaudes.

Etape 12: Si les données relatives à l'angle de dégagement du terrain à l'antenne réceptrice/mobile adjacente à la terre sont disponibles, corriger le champ pour l'angle de dégagement du terrain au niveau de l'antenne réceptrice/mobile au moyen de la méthode donnée au § 11 de l'Annexe 5.

Etape 13: Calculer la valeur estimée du champ liée à la diffusion troposphérique à l'aide de la méthode décrite au § 13 de l'Annexe 5, et prendre la plus grande des valeurs de E et de E_{ts} .

Etape 14: Modifier la valeur du champ pour la hauteur h_2 de l'antenne réceptrice/mobile en utilisant la méthode donnée au § 9 de l'Annexe 5.

Etape 15: Si un obstacle est présent à proximité du terminal émetteur/de base, même si sa hauteur au-dessus du sol est inférieure à celle de l'antenne, appliquer la correction obtenue à l'aide de la méthode du § 10 de l'Annexe 5.

Etape 16: Appliquer la correction liée au trajet incliné donnée au § 14 de l'Annexe 5.

Etape 17: Le § 15 de l'Annexe 5 donne la méthode à utiliser pour les trajets de moins de 1 km. Comme indiqué immédiatement avant l'étape 1 ci-dessus, il peut être nécessaire de commencer par suivre les étapes 1 à 16 pour $d = 1$ km.

Etape 18: Si l'on veut connaître le champ au niveau des antennes réceptrices/mobiles adjacentes à la terre, dépassé en un pourcentage d'emplacement autre que 50%, il faut corriger le champ pour le pourcentage d'emplacement spécifié au moyen de la méthode donnée au § 12 de l'Annexe 5.

Etape 19: Si nécessaire, limiter le champ résultant au maximum donné au § 2 de l'Annexe 5. S'il faut faire un calcul concernant un trajet mixte pour un pourcentage de temps inférieur à 50%, il sera nécessaire de calculer le champ maximal par interpolation linéaire entre les valeurs trajet tout terrestre et trajet tout maritime. Pour cela il faudra utiliser la formule suivante:

$$E_{max} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (42)$$

où:

E_{fs} : champ en espace libre donné par la formule (2) du § 2 de l'Annexe 5

E_{se} : amélioration pour les petits pourcentages de temps dans le cas d'un trajet maritime donné par la formule (3) du § 2 de l'Annexe 5

d_s : distance maritime totale (km)

d_{total} : distance totale du trajet (km).

Etape 20: Au besoin, convertir le champ en affaiblissement de transmission équivalent pour le trajet au moyen de la méthode donnée au § 17 de l'Annexe 5.

Annexe 7

Adaptation à d'autres régions climatiques

Les courbes des Annexes 2, 3 et 4 sont fondées sur des mesures en climats tempérés. Les prévisions de champ seront généralement moins précises pour les régions du monde où le gradient vertical du coïndice dans l'atmosphère est très différent de celui d'une zone tempérée.

La méthode ci-après permet, grâce aux valeurs de gradient vertical du coïndice tirées de la Recommandation UIT-R P.453, de corriger les courbes des Annexes 2, 3 et 4 pour les appliquer à d'autres régions du globe. Les fichiers de données de ladite Recommandation donnent les gradients du coïndice dans les 65 premiers mètres de l'atmosphère sous forme de valeurs négatives, en unités N/km .

On considère pour cette méthode d'adaptation que les courbes des Annexes 2, 3 et 4 représentent les valeurs de référence ci-après du gradient dN_0 :

$$\text{Pour les valeurs de champ dépassées pendant 50\% du temps: } dN_0 = -43,3 \text{ unités } N/\text{km} \quad (43a)$$

$$\text{Pour les valeurs de champ dépassées pendant 10\% du temps: } dN_0 = -141,9 \text{ unités } N/\text{km} \quad (43b)$$

$$\text{Pour les valeurs de champ dépassées pendant 1\% du temps: } dN_0 = -301,3 \text{ unités } N/\text{km} \quad (43c)$$

Pour adapter une famille de courbes de champ à une région radioclimatique non tempérée, calculer la différence de gradients ΔN suivante:

$$\Delta N = dN_0 - dN \quad (44)$$

où:

dN : gradient dépassé pendant 50%, 10% ou 1% du temps (suivant la courbe à corriger) que l'on tire respectivement du fichier de données DNDZ_50.TXT, DNDZ_10.TXT ou DNDZ_01.TXT de la Recommandation UIT-R P.453

dN_0 : gradient de référence donné par la formule (43) pour le pourcentage de temps de la courbe à corriger.

Quelle que soit la distance d (km) considérée et si dN est inférieur ou égal à $-301,3$, ajouter le facteur de correction ci-après à la valeur maximale du champ:

$$\delta E_{max} = 0,007 (-301,3 - dN) \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6\,000) \quad \text{dB} \quad (45)$$

A noter que la valeur maximale du champ n'est pas modifiée si dN est supérieur ou égal à $-301,3$.

Calculer le facteur d'échelle K donné par:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6} (1\,494 - \Delta N)^2 \quad \Delta N > 0 \quad (46a)$$

$$= 0,08 \Delta N \quad \Delta N \leq 0 \quad (46b)$$

Pour la courbe dont la valeur de h_1 est la plus petite (c'est-à-dire $h_1 = 10$ m), ajouter le facteur de correction δE_1 suivant:

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6\,000) \quad \text{dB} \quad (47)$$

Le cas échéant, les limites ci-après s'appliquent à δE_1 :

- δE_1 doit être tel que la valeur de champ corrigée ne soit pas supérieure à sa valeur maximale corrigée.

- Si ΔN est positif, δE_1 doit être tel que la différence entre la valeur de champ maximale corrigée et sa valeur en $h_1 = 10$ m soit inférieure à celle qui existe pour les courbes avant correction. On notera que cette condition ne s'applique pas si ΔN est négatif.

Corriger grâce à la formule ci-après les valeurs de champ pour les autres valeurs de h_1 , de telle sorte que leur répartition entre la valeur maximale et la valeur pour $h_1 = 10$ m soit proportionnelle à celle qui existe pour les courbes avant correction:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1) (E'_{max} - E'_1) / (E_{max} - E_1) \quad (48)$$

où:

E_1 : valeur du champ pour $h_1 = 10$ m

E_n : valeur du champ pour h_1 supérieur à 10 m

E_{max} : valeur maximale du champ

L'exposant prime indique une valeur du champ après correction.

Annexe 8

Comparaison avec la méthode Okumura-Hata

On applique la méthode Okumura-Hata via la formule suivante:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1) (\log d)^b \quad (49)$$

où:

E : champ (dB(μ V/m)) pour une p.a.r. de 1 kW

f : fréquence (MHz)

H_1 : hauteur équivalente de l'antenne de la station de base au-dessus du sol (m) comprise entre 30 et 200 m

H_2 : hauteur au-dessus du sol de l'antenne de la station mobile (m) comprise entre 1 et 10 m

d : distance (km)

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7) H_2 - (1,56 \log f - 0,8)$$

$$b = 1 \text{ pour } d \leq 20 \text{ km}$$

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187 f + 0,00107 H'_1) (\log [0,05 d])^{0,8} \text{ pour } d > 20 \text{ km}$$

où:

$$H'_1 = H_1 / \sqrt{1 + 0,000007 H_1^2}$$

La présente Recommandation conduit à des résultats analogues à ceux induits par la méthode Okumura-Hata si la longueur du trajet est inférieure ou égale à 10 km, si $h_2 = H_2 = 1,5$ m et si $R = 15$.