

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R P.368-10**  
(08/2022)

**Méthode de prévision de la propagation de  
l'onde de sol entre 10 kHz et 30 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 œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

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

Séries	Titre
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	Service fixe
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	<b>Propagation des ondes radioélectriques</b>
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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, 2023

© UIT 2023

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.368-10

**Méthode de prévision de la propagation de l'onde de sol entre 10 kHz et 30 MHz**

(1951-1959-1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2005-2007-2022)

**Domaine de compétence**

La présente Recommandation donne des informations sur le champ et les caractéristiques du sol dont dépend ce champ du fait de la propagation de l'onde de sol à des fréquences inférieures à 30 MHz.

**Mots clés**

Propagation de l'onde de sol, basse fréquence, haute fréquence

**Recommandations et manuel connexes de l'UIT-R**

Recommandation UIT-R P.341

Recommandation UIT-R P.525

Recommandation UIT-R P.526

Recommandation UIT-R P.527

Recommandation UIT-R P.684

Recommandation UIT-R P.1321

Manuel de radiométéorologie (Édition de 2013)

NOTE – Il convient d'utiliser la dernière révision/édition de la Recommandation/du Manuel.

**Liste des symboles utilisés dans les Annexes 1 et 2**

$\varepsilon_r$	permittivité relative
$\lambda$	longueur d'onde
$\sigma$	conductivité
$L_b, A_i$	affaiblissement de transmission de référence
$E$	champ
$k$	nombre d'onde
$S_i$	$i$ ème Section
$d_i$	longueur de la $i$ ème section
$\sigma_i$	conductivité de la $i$ ème section
$\varepsilon_i$	permittivité de la $i$ ème section
$E_R$	champ calculé depuis le récepteur
$E_T$	champ calculé depuis l'émetteur
$E_X$	champ calculé sur un trajet mixte

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

qu'il est utile, étant donné la complexité du calcul du champ de l'onde de sol, de disposer d'une méthode de prévision de l'onde de sol applicable à la gamme de fréquences comprise entre 10 kHz et 30 MHz et de caractéristiques du sol arbitraires,

*recommande*

**1** d'employer la mise en œuvre logicielle, qui fait partie intégrante de la Recommandation, de la méthode de prévision présentée dans l'Annexe 1, applicable dans les conditions indiquées ci-dessous, pour déterminer le champ de l'onde de sol aux fréquences entre 10 kHz et 30 MHz;

**2** que, en règle générale, on n'utilise ces méthodes pour déterminer le champ que dans le cas où l'on sait que l'amplitude des réflexions ionosphériques est négligeable;

**3** que l'on n'utilise pas ces méthodes dans les cas où l'antenne de réception est située à une hauteur considérable au-dessus de la surface de la Terre;

NOTE 1 – Lorsque  $\varepsilon_r \ll 60\lambda\sigma$ , cette méthode de prévision peut être utilisée jusqu'à une hauteur  $h = 1,2 \sigma^{1/2} \lambda^{3/2}$ . Les courbes de propagation pour des hauteurs de terminal jusqu'à 3 000 m et pour des fréquences jusqu'à 10 GHz figurent dans le «Manuel des courbes de propagation des ondes radioélectriques au-dessus de la surface de la Terre», publié séparément par l'UIT;

**4** que l'on utilise aussi ces méthodes de prévision pour déterminer le champ sur des trajets mixtes, comme indiqué dans l'Annexe 2.

## Annexe 1

### Champ de l'onde de sol aux fréquences comprises entre 10 kHz et 30 MHz

La méthode de prévision décrite dans la présente Recommandation est applicable dans les conditions suivantes:

- terre sphérique et homogène;
- fréquences comprises entre 10 kHz et 30 MHz;
- dans la troposphère, dans l'hypothèse où l'indice de réfraction décroît de manière linéaire avec la hauteur;
- les antennes d'émission et de réception sont à la surface de la Terre ou à proximité de celle-ci;
- l'élément rayonnant est une antenne monopole verticale courte située à la surface d'une Terre assimilée à un plan parfaitement conducteur qui rayonne une puissance de 1 kW et le champ rayonné à 1 km de distance est de 300 mV/m, ce qui correspond à une force cymomotrice de 300 V (voir la Recommandation UIT-R P.525); (voir le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R P.341 pour désigner le champ par rapport à d'autres antennes de référence);
- la distance entre l'émetteur et le récepteur est la distance le long du grand cercle;
- les méthodes de prévision donnent la composante verticale du champ de rayonnement, qui sera mesurée dans la région du champ lointain de l'antenne.

La mise en œuvre logicielle de cette méthode de prévision fait partie intégrante de la présente Recommandation et est fournie dans le fichier zip [R-REC-P.368-10-202208-I!!ZIP-E.zip](#).

NOTE 1 – L'affaiblissement de propagation correspondant aux mêmes conditions pour lesquelles les courbes ont été calculées peut être obtenu à partir de la valeur du champ  $E$  (dB( $\mu$ V/m)) grâce à la formule suivante:

$$L_b = A_i = 142,0 + 20 \log_{10} f_{\text{MHz}} - E \quad \text{dB}$$

Pour déterminer l'influence du milieu environnant sur l'antenne d'émission et sur l'antenne de réception, voir la Recommandation UIT-R P.341.

NOTE 2 – Même lorsque la distance entre les emplacements est très inférieure à la distance jusqu'à l'émetteur, les caractéristiques électriques réelles du sol et les conditions de réception ne seront pas les mêmes. Dans nombre de cas, les différences de niveau d'un signal à des emplacements voisins présentent une distribution log-normale avec un écart type compris entre 3 et 4 dB, la moyenne étant de 3,5 dB.

Le champ de l'onde de sol peut également varier en fonction des températures saisonnières. La différence moyenne annuelle entre les champs médians pour les mois d'été et d'hiver, dans la bande 500-1 000 kHz, varie entre 5 dB (où la température moyenne en janvier dans l'hémisphère nord est de  $+4^\circ$ ) et 15 dB (où la température moyenne en janvier dans l'hémisphère nord est de  $-16^\circ$ ). Des variations saisonnières ont également été observées à des fréquences comprises entre 150 et 280 kHz en Europe continentale. Ces variations augmentent de façon monotone avec la fréquence et la distance, et peuvent atteindre 10 à 20 dB à des distances de 1 000 à 2 000 km (voir également la Recommandation UIT-R P.1321).

NOTE 3 – La méthode fournit la valeur du champ total à la distance  $r$  avec une erreur inférieure à 1 dB lorsque  $kr$  est supérieur à 10 environ, avec  $k = 2\pi/\lambda$ . On peut inclure les effets de champ proche (c'est-à-dire l'induction et le champ statique) en augmentant le champ (dB) de:

$$10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{(kr)^4} \right\}$$

On obtient ainsi le champ total à  $\pm 0,1$  dB près pour la mer et un sol humide et à  $\pm 1$  dB près pour n'importe quel sol de conductivité supérieure à  $10^{-3}$  S/m.

NOTE 4 – Si l'emplacement de l'une ou l'autre des antennes est situé plus haut que la hauteur moyenne du terrain le long du trajet entre les antennes, la hauteur équivalente de l'antenne est la hauteur de l'antenne au-dessus de la hauteur moyenne du terrain le long du trajet. Il faut comparer la valeur de la hauteur équivalente de l'antenne avec la valeur calculée de la hauteur limite d'antenne donnée au § 3 de la présente Recommandation pour déterminer si les courbes sont applicables au trajet considéré.

Les Fig. 1 et 2 sont des exemples de résultats obtenus avec les courbes de champ en fonction de la distance, avec la fréquence comme paramètre d'entrée.

FIGURE 1

Courbes de propagation de l'onde de sol en ondes kilométriques/hectométriques; eau de mer, salinité faible,  $\sigma = 1 \text{ S/m}$ ,  $\epsilon_r = 80$

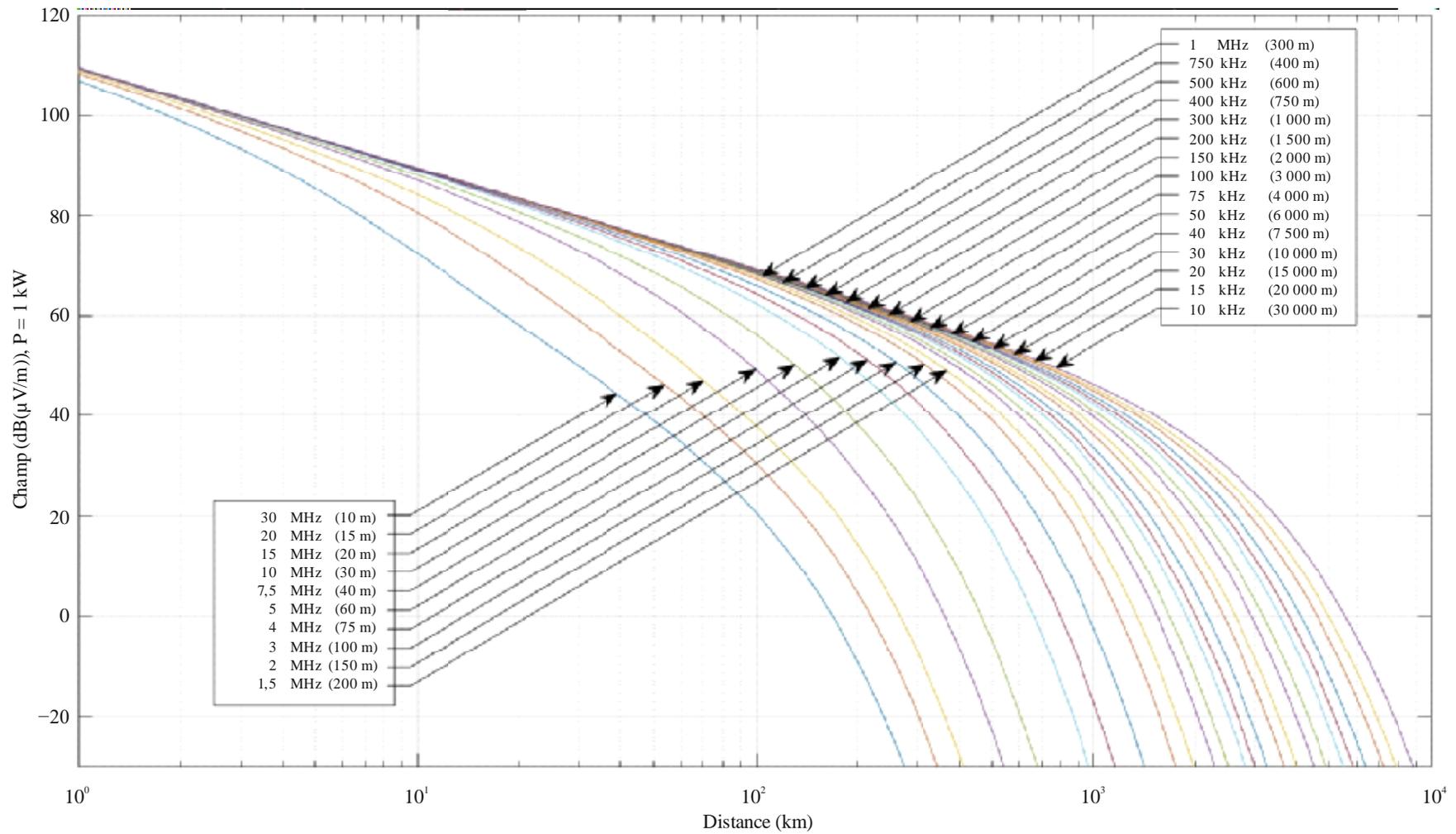
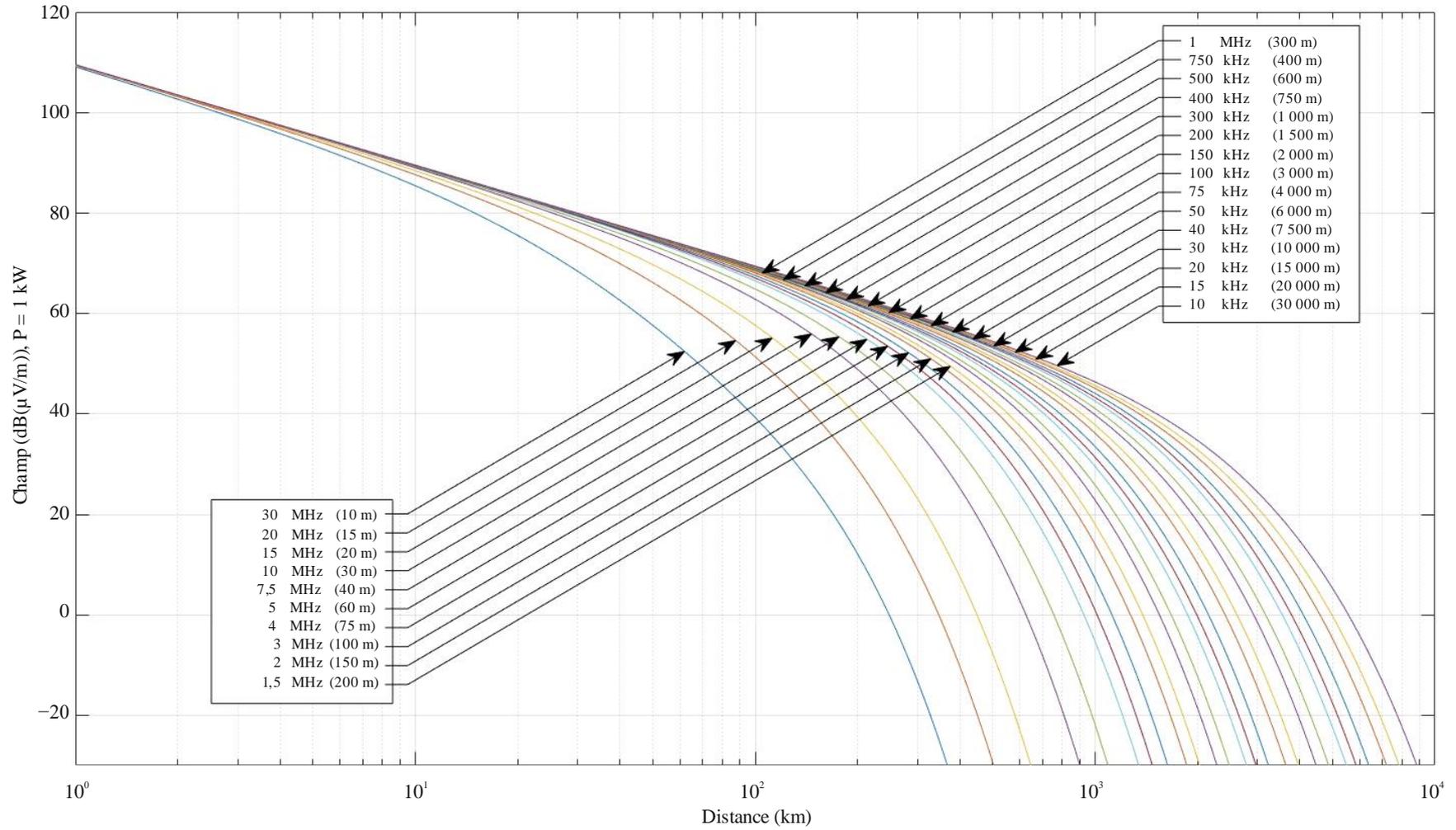


FIGURE 2

Courbes de propagation de l'onde de sol en ondes kilométriques/hectométriques; eau de mer, salinité moyenne,  $\sigma = 5 \text{ S/m}$ ,  $\epsilon_r = 70$



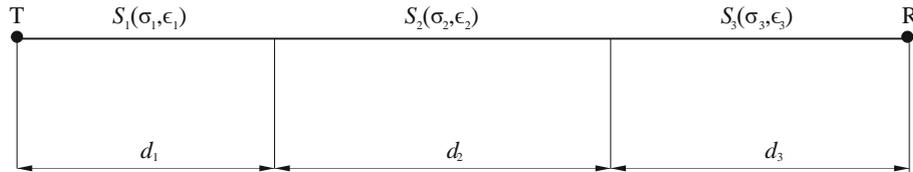
## Annexe 2

### Application aux trajets mixtes (trajets hétérogènes)

1 La méthode décrite dans la présente Annexe peut être utilisée pour déterminer la propagation sur des trajets mixtes (surface terrestre hétérogène et peu accidentée), de la façon suivante:

Ces trajets peuvent être constitués de sections  $S_1, S_2, S_3$ , etc., de longueurs  $d_1, d_2, d_3$ , etc., ayant des conductivités et des permittivités respectives  $\sigma_1, \epsilon_1; \sigma_2, \epsilon_2; \sigma_3, \epsilon_3$ , etc., comme le montre la Fig. 3:

FIGURE 3  
Exemples de trajets mixtes



P0368-03

La méthode de Millington, utilisée dans cette Annexe, pour déterminer la propagation sur des trajets mixtes est, parmi les méthodes disponibles, la plus précise et satisfait à la condition de réciprocité. Avec cette méthode, on suppose que les valeurs du champ,  $E$ , sont disponibles pour les différents types de terrain correspondant aux sections  $S_1, S_2, S_3$ , etc., supposées individuellement homogènes, pour la source  $T$  définie, par exemple, par une courbe «inverse de la distance». Les valeurs pour toute autre source pourront ensuite être obtenues par l'application d'un coefficient.

Pour une fréquence donnée, on calcule la valeur du champ  $E_1(d_1)$  en dB( $\mu$ V/m) à la distance  $d_1$  pour la section  $S_1$ . De même, on calcule les valeurs des champs  $E_2(d_1)$  et  $E_2(d_1 + d_2)$  pour la section  $S_2$ ; puis on calcule les valeurs des champs  $E_3(d_1 + d_2)$  et  $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$  pour la section  $S_3$ .

Le champ  $E_R$  est alors calculé par l'expression:

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) \quad (1)$$

et le champ  $E_T$  est calculé par l'expression:

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) \quad (2)$$

Le champ recherché pour le trajet mixte  $E_X$ , est alors:

$$E_x = \frac{E_R + E_T}{2} \quad (3)$$

Les Fig. 4 et 5 sont des exemples de résultats obtenus qui présentent des courbes de champ en fonction de la distance avec les caractéristiques électriques du sol comme paramètre d'entrée.

FIGURE 4  
 Courbes de propagation de l'onde de sol en ondes kilométriques/hectométriques pour différentes valeurs de  $\sigma$  et  $\epsilon_r$ ,  $f=30$  kHz

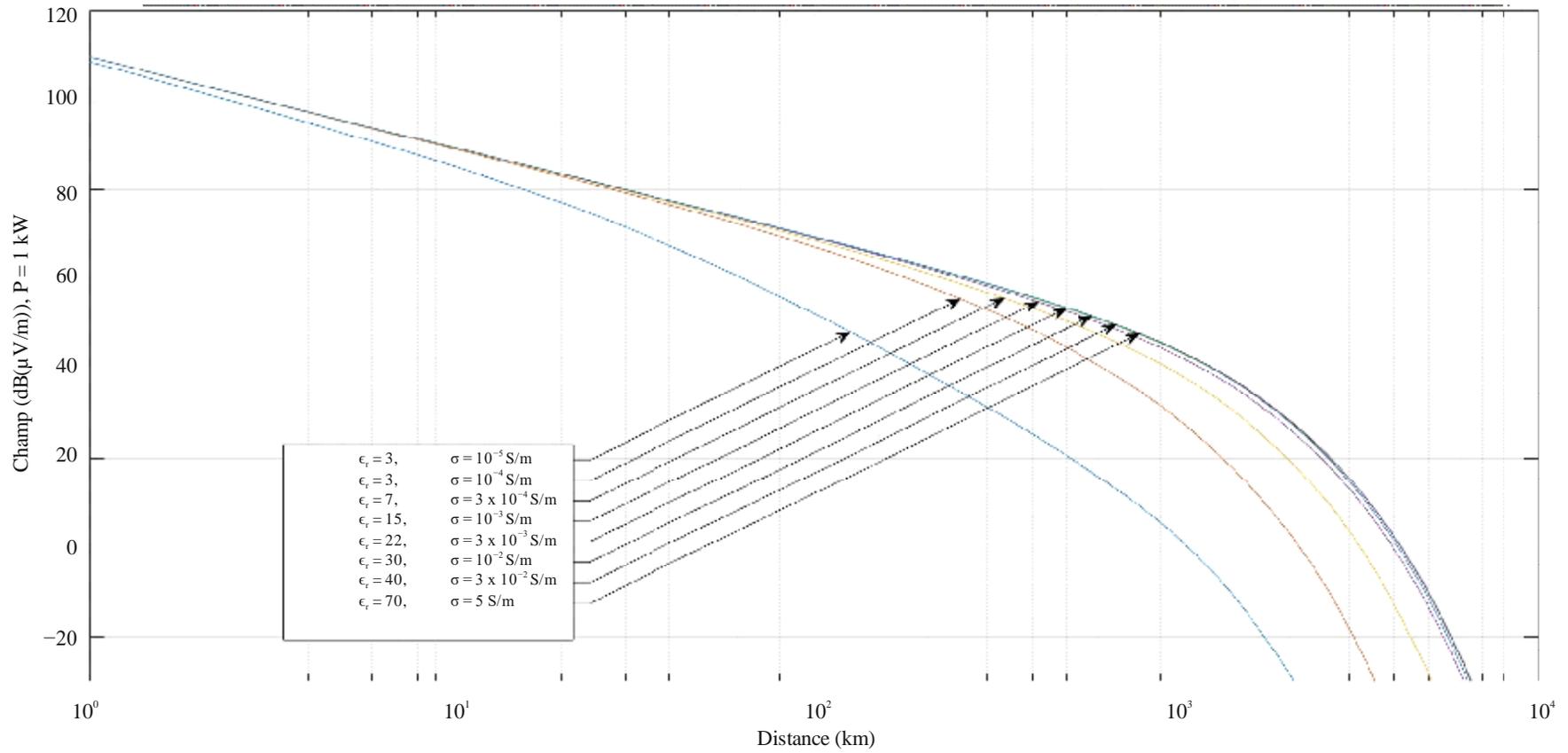


FIGURE 5

Courbes de propagation de l'onde de sol en ondes kilométriques/hectométriques pour différentes valeurs de  $\sigma$  et  $\epsilon_r$ ,  $f=60$  kHz

