

Recommandation UIT-R P.525-5

(11/2024)

Série P: Propagation des ondes radioélectriques

Calcul de l'affaiblissement en espace libre



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/en>, 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/en>)

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 radiopéage 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	Émissions 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, 2024

© UIT 2024

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

RECOMMANDATION UIT-R P.525-5

Calcul de l'affaiblissement en espace libre

(1978-1982-1994-2016-2019-2024)

Domaine d'application

La présente Recommandation fournit des méthodes pour calculer l'affaiblissement en espace libre.

Mots clés

Affaiblissement, espace libre, liaisons de télécommunication.

Recommandations UIT connexes

Recommandation UIT-R P.341

Recommandation UIT-R P.368

NOTE – Dans tous les cas, il convient d'utiliser l'édition la plus récente de la Recommandation en vigueur.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

que la propagation en espace libre est une référence fondamentale pour la technique des radiocommunications,

recommande

d'utiliser les méthodes présentées dans l'Annexe pour calculer l'affaiblissement en espace libre.

Annexe**1 Introduction**

Aux fins des radiocommunications, l'espace libre est défini comme un vide parfait qui peut être considéré comme illimité dans toutes les directions, et la propagation en espace libre est la propagation d'une onde radioélectrique rayonnant dans l'espace libre¹.

¹ Dans son vocabulaire électrotechnique (electropedia), l'Organisation internationale de normalisation a une définition plus générale:

Propagation en espace libre: propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu diélectrique parfait homogène qui peut être considéré comme illimité dans toutes les directions.

NOTE – Dans la propagation en espace libre, la norme de chaque vecteur du champ électromagnétique décroît, dans une direction donnée quelconque, comme l'inverse de la distance à la source, au-delà d'une distance à celle-ci qui dépend de ses dimensions et de la longueur d'onde.

Comme la propagation en espace libre est souvent prise comme référence dans d'autres textes, on a rassemblé dans la présente Annexe certaines formules pertinentes.

2 Formules fondamentales pour les liaisons de télécommunication

La propagation en espace libre peut être calculée de différentes façons, chacune d'elles étant plus spécialement adaptée à un type de service.

2.1 Liaisons point à zone

S'il existe un émetteur desservant de nombreux récepteurs distribués de façon aléatoire (radiodiffusion, service mobile), on calcule le champ électrique en un point situé à une distance appropriée de l'émetteur par la relation:

$$e = \frac{\sqrt{30p}}{d} \quad (1)$$

où:

e : valeur efficace du champ (V/m) (voir la Note 1)

p : puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de l'émetteur dans la direction du point en question (W) (voir la Note 2)

d : distance de l'émetteur au point en question (m).

L'équation (1) est souvent remplacée par la formule (2) qui utilise des unités pratiques:

$$e_{\text{mV/m}} = 173 \frac{\sqrt{p_{\text{kW}}}}{d_{\text{km}}} \quad (2)$$

où:

$e_{\text{mV/m}}$: valeur efficace du champ (mV/m)

p_{kW} : puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de l'émetteur dans la direction du point en question (kW)

d_{km} : distance de l'émetteur au point en question (km).

Pour les antennes fonctionnant dans les conditions de propagation en espace libre, on peut obtenir la force cymomotrice en multipliant e et d de l'équation (1). Elle s'exprime en volts.

NOTE 1 – Si l'onde est à polarisation elliptique et non rectiligne et si on désigne par e_x et e_y , les composantes du champ électrique suivant deux axes orthogonaux, le premier membre de l'équation (1) doit être remplacé par $\sqrt{e_x^2 + e_y^2}$. On ne peut en déduire e_x et e_y que si on connaît le taux d'ellipticité. Pour une polarisation circulaire, on devrait remplacer e par $e\sqrt{2}$.

NOTE 2 – Pour les antennes situées à la surface du sol (fonctionnant en règle générale à des fréquences relativement basses) en polarisation verticale, on ne considère généralement le rayonnement que dans le demi-espace supérieur. Lorsque le sol est considéré comme plan et parfaitement conducteur, la puissance surfacique pour une puissance rayonnée donnée est doublée par rapport au cas d'une antenne en espace libre. (Dans le cas où on considère les intensités de champ, l'intensité de champ est alors augmentée de 3 dB.) Il convient d'en tenir compte pour déterminer la puissance rayonnée (ce qui est déjà le cas dans la Recommandation UIT-R P.368 et dans l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R P.341).

2.2 Relations entre les caractéristiques d'une onde plane

En outre, il existe des relations entre les caractéristiques d'une onde plane (ou d'une onde assimilable à une onde plane) en un point:

$$s = \frac{e^2}{120\pi} = \frac{30p}{120\pi d^2} = p \times \frac{1}{4\pi d^2} \quad (3)$$

où:

- s: puissance surfacique (W/m^2)
- e: valeur efficace du champ (V/m)
- p: puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de l'émetteur dans la direction du point en question (W).

2.3 Liaisons point à point

Pour une liaison point à point entre antennes isotropes, il est nécessaire de considérer la puissance à la sortie de l'antenne isotrope de réception p_r , au point en question:

$$p_r = s \times a = \frac{p}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (4)$$

où:

- a: ouverture effective d'une antenne isotrope de réception (m^2).

Si l'on introduit un affaiblissement en espace libre entre antennes isotropes, appelé aussi affaiblissement de transmission de référence en espace libre (symbole: L_{bf} ou A_{bf}), celui-ci peut être calculé de la manière suivante (voir la Recommandation UIT-R P.341):

$$L_{bf} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi d^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{dB} \quad (5)$$

où:

- L_{bf} : affaiblissement de transmission de référence en espace libre (dB)
- d: distance
- λ : longueur d'onde, et
- d et λ : sont exprimés avec la même unité.

L'équation (5) peut encore s'écrire en utilisant la fréquence au lieu de la longueur d'onde.

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d \quad \text{dB} \quad (6)$$

où:

- f: fréquence (MHz)
- d: distance (km).

3 Affaiblissement de transmission de référence en espace libre d'un système radar (symbole: L_{br} ou A_{br})

Les systèmes radar constituent un cas particulier, car le signal y subit un premier affaiblissement sur son trajet entre l'émetteur et la cible et un second affaiblissement sur son trajet entre la cible et le récepteur. Pour un radar utilisant la même antenne à l'émission et à la réception, on peut exprimer l'affaiblissement de transmission de référence en espace libre, L_{br} , comme suit:

$$L_{br} = 103,4 + 20 \log_{10} f + 40 \log_{10} d - 10 \log_{10} \sigma \quad \text{dB} \quad (7)$$

où:

- σ : section droite de la cible radar (m^2)
- d: distance entre le radar et la cible (km)
- f: fréquence du système (MHz).

La section droite de cible radar d'un objet est le rapport de la puissance totale diffusée isotrope équivalente à la puissance surfacique incidente.

4 Formules de conversion

Sur la base d'une propagation en espace libre, il est possible d'utiliser les formules de conversion ci-après:

Champ correspondant à une puissance isotrope rayonnée émise donnée:

$$E = P_t - 20 \log_{10} d + 74,8 \quad (8)$$

Puissance disponible reçue par une antenne de réception isotrope à adaptation conjuguée pour un champ donné:

$$P_r = E - 20 \log_{10} f - 167,2 \quad (9)$$

Affaiblissement de transmission de référence en espace libre pour une puissance isotrope rayonnée et un champ donné:

$$L_{bf} = P_t - E + 20 \log_{10} f + 167,2 \quad \text{dB} \quad (10)$$

Puissance surfacique pour un champ donné:

$$S = E - 145,8 \quad (11)$$

où:

- P_t : puissance isotrope rayonnée (dB(W))
- P_r : puissance disponible reçue par une antenne à adaptation conjuguée (dB(W))
- E : champ électrique (dB(μ V/m))
- f : fréquence (GHz)
- d : longueur du trajet radioélectrique (km)
- L_{bf} : affaiblissement de transmission de référence en espace libre (dB)
- S : puissance surfacique (dB(W/m²))

Il est à noter que l'on peut utiliser les équations (8) et (10) pour déterminer l'équation (6).
