

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.2109-1
(08/2019)

**Prévision de l'affaiblissement dû à la
pénétration dans les bâtiments**

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
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	Systemes 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.2109-1

Prévision de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments

(2017-2019)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit une méthode permettant d'estimer l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments aux fréquences comprises entre environ 80 MHz et 100 GHz pour une probabilité P comprise entre 0,0 et 1,0. Cette méthode, qui n'est pas propre à un site, est principalement destinée à être utilisée dans des études de partage et de compatibilité.

Mots clés

Bâtiment, à l'intérieur, propagation, brouillages, pénétration

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, pour la planification des systèmes et l'évaluation des brouillages, il peut être nécessaire de tenir compte de l'affaiblissement que subissent les ondes radioélectriques lorsqu'elles traversent des bâtiments;
- b) qu'il est nécessaire de fournir des indications aux ingénieurs pour estimer la couverture ou prévoir les brouillages causés par les systèmes situés à l'extérieur de bâtiments aux systèmes se trouvant à l'intérieur ou inversement,

reconnaissant

- a) que la Recommandation UIT-R P.2040 donne des indications sur les effets des matériaux de construction et des structures des bâtiments sur les ondes radioélectriques;
- b) que le Rapport UIT-R P.2346 contient des données empiriques regroupées sur l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments,

recommande

d'utiliser le modèle présenté dans l'Annexe 1 pour estimer l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments.

NOTE – Les études de partage menées par l'UIT-R au titre de différents points de l'ordre du jour de la CMR-19 étaient basées sur le texte de la présente Recommandation qui était en vigueur au moment où les activités ont été réalisées.

Annexe 1**1 Introduction**

On trouvera dans la présente Annexe un modèle d'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments, tel qu'il est défini dans la Recommandation UIT-R P.2040. Le résultat de ce modèle est présenté sous la forme d'une fonction de distribution cumulative de la probabilité pour qu'un affaiblissement donné ne soit pas dépassé.

Ce modèle n'a pas pour but de dissocier l'affaiblissement que subit un signal pénétrant le mur extérieur de l'affaiblissement que subit le trajet à travers le bâtiment. Cette approche a été adoptée car il a été jugé peu probable, dans le cadre des études de l'UIT-R, que des informations suffisamment détaillées propres à un bâtiment soient disponibles.

L'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments se caractérise par une grande variabilité, tant à l'intérieur d'un bâtiment donné qu'entre des bâtiments différents. Bien que des techniques telles que le tracé de rayons permettent d'établir des prévisions utiles sur un emplacement donné, lorsqu'elles sont utilisées conjointement avec des données architecturales détaillées, ces modèles ne se prêtent généralement pas à des applications génériques telles que les études de partage du spectre.

Un modèle statistique visant à décrire les caractéristiques de l'affaiblissement dû à la pénétration de l'ensemble global de bâtiments donnerait une distribution statistique si vaste qu'il ne serait d'aucune utilité. Par ailleurs, un modèle visant à caractériser un grand nombre de types différents de bâtiments nécessiterait plus de données qu'il n'en existe actuellement et ne conviendrait pas pour les études de partage génériques.

NOTE – Il convient de tenir dûment compte des types de bâtiments mentionnés dans la présente Recommandation.

Le modèle est fondé sur les données de mesure regroupées dans le Rapport UIT-R P.2346 dans la gamme comprise entre 80 MHz et 73 GHz. Il peut être utilisé dans le cadre d'une méthode de Monte Carlo, mais il convient de noter qu'il n'a été validé que par rapport à des données empiriques pour des probabilités comprises entre 0,01 et 0,99.

2 Paramètres

Le modèle utilise les paramètres d'entrée suivants:

- fréquence (~0,08-100 GHz);
- probabilité pour que l'affaiblissement ne soit pas dépassé;
- catégorie de bâtiment («traditionnel» ou «à bon rendement thermique»);
- angle d'élévation du trajet au niveau de la façade de l'immeuble (degrés au-dessus de l'horizon).

L'azimut du trajet vers le terminal en extérieur par rapport à la surface de l'immeuble n'est pas expressément pris en compte. Bien que la théorie et les mesures montrent que les signaux qui arrivent généralement sur une surface d'immeuble subiront un affaiblissement moindre que ceux qui arrivent à des angles obliques, le résultat statistique du modèle représente la plupart des orientations de bâtiments par rapport au terminal en extérieur.

Dans le modèle de base, on suppose que l'antenne à l'intérieur est équidirective et que l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments tiendra donc compte de toute l'énergie qui arrive à l'emplacement du terminal. Dans certains cas, le terminal à l'intérieur peut utiliser une antenne directive qui fera office de filtre spatial, ce qui aura pour effet d'augmenter l'affaiblissement apparent dû à la pénétration dans les bâtiments en raison du rejet de l'énergie qui arrive de certaines directions. Des mesures effectuées dans deux grands bâtiments en République de Corée à 32 GHz ont montré que l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments mesuré à l'aide d'antennes ayant une ouverture de faisceau de 10 degrés était supérieur de 5,3 dB à celui mesuré avec une antenne équidirective. On trouvera de plus amples précisions dans le Rapport UIT-R P.2346.

Conformément à la définition donnée dans la Recommandation UIT-R P.2040, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments est défini ici indépendamment d'éventuels obstacles environnants. Si le bâtiment est entouré de groupes d'obstacles locaux, il faudra peut-être déterminer d'autres affaiblissements pour la hauteur et la position au-dessus du sol du terminal considéré, en utilisant la Recommandation UIT-R P.2108.

Dans le modèle, on suppose implicitement que la probabilité pour que les terminaux soient situés en tout point à l'intérieur d'un bâtiment est la même.

2.1 Classification des types de bâtiments

Il ressort de résultats expérimentaux, tels que ceux présentés dans le Rapport UIT-R P.2346, que lorsqu'ils sont définis en termes d'affaiblissement dû à la pénétration, les bâtiments se rangent dans deux catégories distinctes: lorsque des méthodes de construction modernes et présentant un bon rendement thermique sont utilisées (verre métallisé, panneaux à feuille d'aluminium), l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments est généralement plus élevé que dans le cas de bâtiments «traditionnels» dépourvus de matériaux de ce type. En conséquence, le modèle permet d'établir des prévisions pour ces deux cas.

Cette classification entre bâtiments «à bon rendement thermique» et bâtiments «traditionnels» désigne exclusivement le rendement thermique des matériaux de construction. Aucune hypothèse ne doit être émise quant à l'année de la construction, au type (bâtiment à un ou plusieurs étages), à la protection du patrimoine ou à la méthode de construction.

En ce qui concerne l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments, il est important de tenir compte du rendement thermique du bâtiment dans son intégralité (ou du rendement thermique global). Si la structure principale présente un très bon rendement thermique, mais est dotée de fenêtres mal isolées (par exemple à simple vitrage et à paroi mince), le bâtiment présentera un faible rendement thermique et inversement.

La transmission thermique (valeur U) offre une description quantifiable du rendement thermique. De faibles valeurs U représentent un rendement thermique élevé. Généralement, la présence de fenêtres en verre métallisé, de murs creux isolés, de béton armé et d'un revêtement métallique est une bonne indication¹ d'un bâtiment présentant un bon rendement thermique.

3 Modèle

L'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments dépendra du type de bâtiment, de l'emplacement à l'intérieur du bâtiment et du mouvement dans le bâtiment. La distribution de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments est donnée par une combinaison de distributions log-normales. L'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments qui n'est pas dépassé pour la probabilité, P , est donné par la formule:

$$L_{BEL}(P) = 10\log(10^{0,1A(P)} + 10^{0,1B(P)} + 10^{0,1C}) \text{ dB} \quad (1)$$

où:

$$A(P) = F^{-1}(P)\sigma_1 + \mu_1 \quad (2)$$

$$B(P) = F^{-1}(P)\sigma_2 + \mu_2 \quad (3)$$

$$C = -3,0 \quad (4)$$

$$\mu_1 = L_h + L_e \quad (5)$$

$$\mu_2 = w + x \log(f) \quad (6)$$

$$\sigma_1 = u + v \log(f) \quad (7)$$

$$\sigma_2 = y + z \log(f) \quad (8)$$

¹ Par exemple, des valeurs $U < 0,3$ et $< 0,9$ sont représentatives respectivement d'une structure principale offrant un bon rendement thermique et comportant du verre métallisé.

où:

L_h est l'affaiblissement médian pour des trajets horizontaux, donné par la formule:

$$L_h = r + s \log(f) + t (\log(f))^2 \quad (9)$$

L_e est la correction de l'angle d'élévation du trajet au niveau de la façade de l'immeuble:

$$L_e = 0,212 |\theta| \quad (10)$$

et:

f = fréquence (GHz)

θ = angle d'élévation du trajet au niveau de la façade de l'immeuble (degrés)

P = probabilité pour que l'affaiblissement ne soit pas dépassé ($0,0 < P < 1,0$)

$F^{-1}(P)$ = distribution normale cumulative inverse en fonction de la probabilité

et les coefficients sont donnés dans le Tableau 1:

TABLEAU 1
Coefficients du modèle

Type de bâtiment	r	s	t	u	v	w	x	y	z
Rapporté à:	μ_1			σ_1		μ_2		σ_2	
Traditionnel	12,64	3,72	0,96	9,6	2,0	9,1	-3,0	4,5	-2,0
À bon rendement thermique	28,19	-3,00	8,48	13,5	3,8	27,8	-2,9	9,4	-2,1

À titre d'exemple, la Fig. 1 représente l'affaiblissement médian dû à la pénétration dans les bâtiments obtenu à l'aide du modèle pour les deux catégories de bâtiments. Dans les études de partage, la distribution entière devra toujours être prise en compte. La Figure 2 représente la fonction de distribution cumulative de la prévision de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments à l'angle d'incidence horizontale.

FIGURE 1
 Prévision de l'affaiblissement médian dû à la pénétration dans
 les bâtiments à l'angle d'incidence horizontale

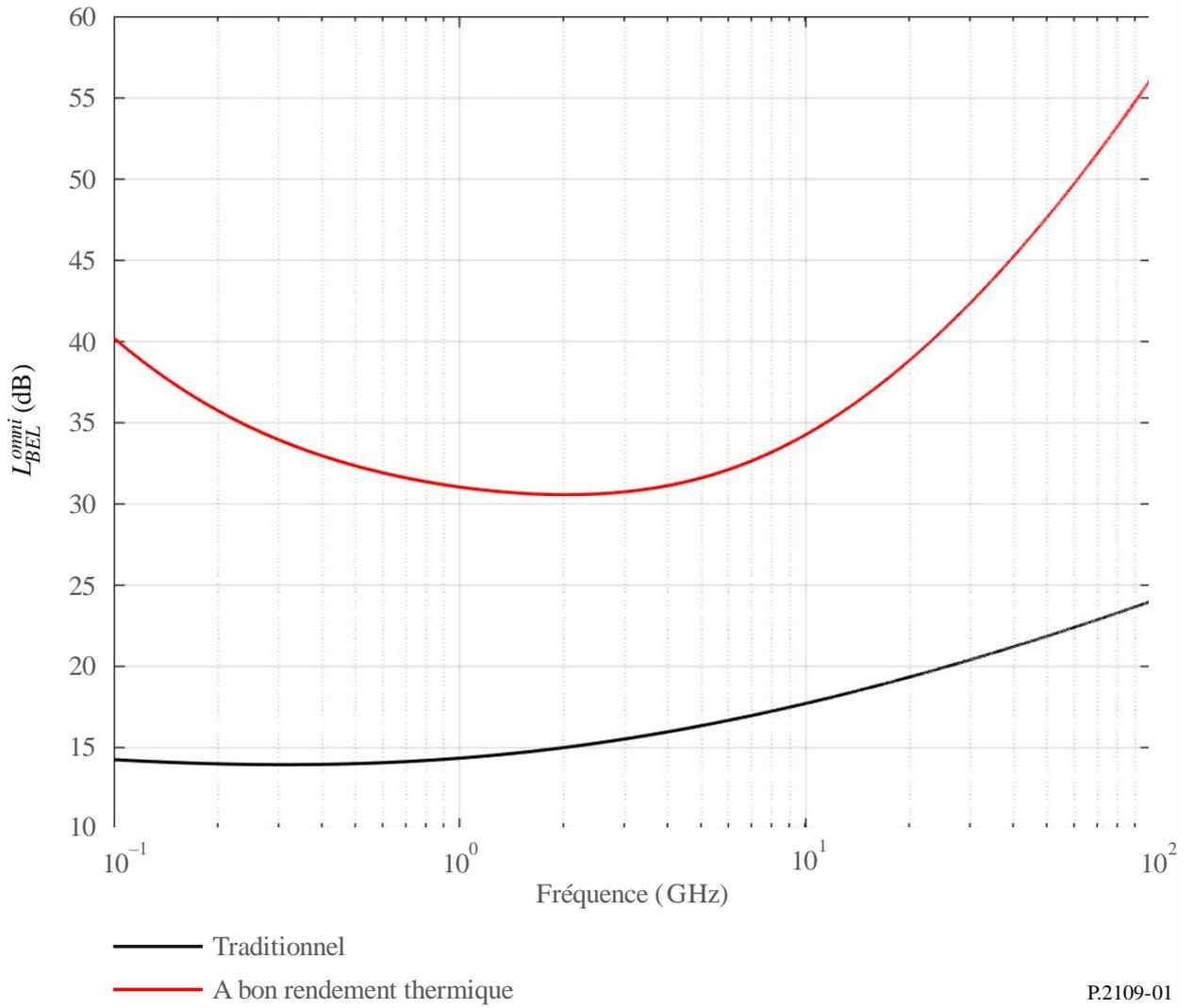
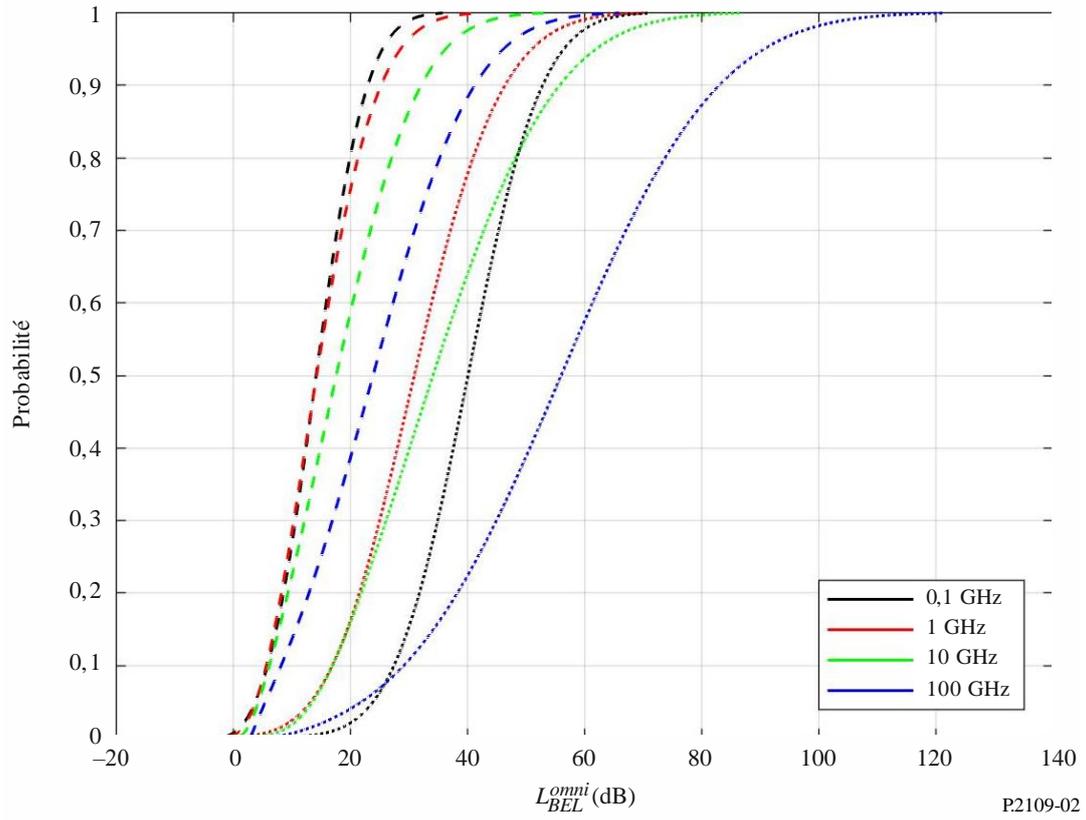


FIGURE 2

Prévision de l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments à l'angle d'incidence horizontale
(courbe en tirets: traditionnel; courbe en pointillés: à bon rendement thermique)



P2109-02