

Recommandation UIT-R P.1144-12

(08/2023)

Série P: Propagation des ondes radioélectriques

**Guide pour l'application des méthodes
de prévision de la propagation de la
Commission d'études 3 des
radiocommunications**



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: <https://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, 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.1144-12

**Guide pour l'application des méthodes de prévision de la propagation
de la Commission d'études 3 des radiocommunications**

(1995-1999-2001-2001-2007-2009-2012-2015-06/2017-12/2017-2019-2021-2023)

Domaine d'application

La présente Recommandation est un guide relatif aux Recommandations de la Commission d'études 3 des radiocommunications portant sur des méthodes de prévision de la propagation. Les utilisateurs y trouveront des conseils sur les méthodes les plus appropriées en cas d'applications particulières ainsi que les limites, les données d'entrée et les données de sortie pour chacune de ces méthodes.

Mots clés

Propagation des ondes radioélectriques, méthodes de prévision, produits numériques, interpolation spatiale, système de référence de hauteur

Glossaire

Symbole	Description
n	valeurs des points de la quadrature gaussienne
W_i	pois de la quadrature gaussienne
X_i	points de la quadrature gaussienne

Les autres symboles qui ne figurent pas dans le tableau ci-dessus sont de nature intermédiaire et n'ont pas de définition.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

qu'il est nécessaire d'apporter de l'aide aux utilisateurs des Recommandations UIT-R de la Série P (élaborées par la Commission d'études 3 des radiocommunications),

recommande

1 que les renseignements contenus dans le Tableau 1 soient considérés comme des indications pour l'application des diverses méthodes de prévision de la propagation contenues dans les Recommandations UIT-R de la Série P (élaborées par la Commission d'études 3 des radiocommunications);

2 que les renseignements contenus dans le Tableau 2 et dans l'Annexe 1 soient considérés comme des indications pour l'utilisation des différentes cartes numériques des paramètres géophysiques nécessaires pour l'application des méthodes de prévision de la propagation mentionnées au point 1 du *recommande*.

NOTE 1 – À chacune des Recommandations UIT-R qui figurent dans le Tableau 1 sont associées des colonnes qui indiquent:

Domaine d'application: le ou les services ou applications auxquels est destinée la Recommandation.

Type: les cas auxquels s'applique la Recommandation, tels que point à point, point à zone, visibilité directe, etc.

Données de sortie: la valeur du paramètre de sortie fournie par la méthode, par exemple, affaiblissement de transmission de référence.

Fréquences: la gamme des fréquences pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Distances: la gamme des distances pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Pourcentage du temps: valeurs ou gamme des valeurs des pourcentages de temps pour lesquelles s'applique la Recommandation. Le pourcentage du temps correspond à celui pendant lequel la valeur du signal prévu est dépassée au cours d'une année moyenne.

Pourcentage des emplacements: la gamme des pourcentages des emplacements pour lesquels s'applique la Recommandation. Le pourcentage des emplacements correspond à celui, à l'intérieur, par exemple, d'un carré de 100 à 200 m de côté, où le signal prévu est dépassé.

Hauteur des terminaux: la gamme des hauteurs des antennes des terminaux pour lesquelles s'applique la Recommandation.

Données d'entrée: la liste des paramètres utilisés par la méthode de la Recommandation; ces paramètres sont classés par ordre d'importance et, dans certains cas, on peut utiliser des valeurs par défaut.

Le Tableau 1 contient des renseignements qui sont déjà fournis par les Recommandations elles-mêmes, mais il permet aux utilisateurs de se rendre compte rapidement des possibilités, et des limitations, des Recommandations sans avoir à se référer à leur texte.

TABLEAU 1

Méthodes UIT-R de prévision de la propagation des ondes radioélectriques

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.368	Courbes de propagation de l'onde de sol entre 10 kHz et 30 MHz	Tous les services	Point à point	Champ	10 kHz à 30 MHz	1 à 10 000 km	Sans objet	Sans objet	Au sol	Fréquence Conductivité du sol
Rec. UIT-R P.452	Méthode de prédiction pour évaluer les brouillages entre stations situées à la surface de la Terre à des fréquences supérieures à 0,1 GHz environ	Services utilisant des stations à la surface de la Terre; brouillage	Point à point	Affaiblissement de transmission de référence	100 MHz à 50 GHz	Pas spécifié mais jusqu'à et au-delà de l'horizon radioélectrique	0,001 à 50 Année moyenne et mois le plus défavorable	Sans objet	Aucune limite spécifiée dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Données de profil de trajet Fréquence Pourcentage de temps Hauteur de l'antenne d'émission Hauteur de l'antenne de réception Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Données météorologiques Polarisation
Rec. UIT-R P.528	Courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique	Mobile aéronautique	Point à zone	Affaiblissement de transmission de référence	100 MHz à 30 GHz	Pas spécifié mais jusqu'à et au-delà de l'horizon radioélectrique Pour les applications aéronautiques, une distance le long du grand cercle de 0 km ne veut pas dire une longueur de trajet de 0 km	1 à 99	Sans objet	Hauteur des terminaux: 1,5– 20 000 m	Distance Hauteur de l'émetteur Fréquence Hauteur du récepteur Pourcentage de temps Polarisation
Rec. UIT-R P.530	Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de faisceaux hertziens à visibilité directe de Terre	Liaisons fixes en visibilité directe	Point à point visibilité directe	Affaiblissement de propagation Amélioration apportée par la diversité (condition de temps clair) XPD ⁽²⁾ Interruption Caractéristiques d'erreur	150 MHz à 100 GHz environ	Jusqu'à 200 km en visibilité directe	Tous les pourcentages de temps en condition de temps clair; 1 à 0,001 en présence de précipitations et mois le plus défavorable pour l'affaiblissement	Sans objet	Hauteur suffisante pour un dégagement du trajet	Distance Hauteur de l'émetteur Fréquence Hauteur du récepteur Pourcentage de temps Données sur l'obstruction du trajet Données climatiques Renseignements sur le terrain

TABLEAU 1 (suite)

Méthode	titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.533	Méthode de prévision de la qualité de fonctionnement des circuits en ondes décamétriques	Radiodiffusion Service fixe Service mobile	Point à point	MUF de référence Champ de l'onde ionosphérique Puissance disponible à l'entrée du récepteur Rapport signal/bruit LUF Fiabilité de circuit	2 à 30 MHz	0 à 40 000 km	Tous les pourcentages	Sans objet	Sans objet	Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Nombre de taches solaires Mois Heure(s) de la journée Fréquences Puissance de l'émetteur Type d'antenne de l'émetteur Type d'antenne du récepteur
Rec. UIT-R P.534	Méthode de calcul du champ en présence d'ionisation sporadique de la région E	Service fixe Service mobile Radiodiffusion	Point à point par l'intermédiaire de E-sporadique	Champ	30 à 100 MHz	0 à 4 000 km	0,1 à 50	Sans objet	Sans objet	Distance Fréquence
Rec. UIT-R P.617	Techniques de prévision de la propagation et données de propagation nécessaires pour la conception des faisceaux hertziens transhorizon	Liaisons fixes transhorizon	Point à point	Affaiblissement de transmission de référence	> 30 MHz	100 à 1 000 km	0,001 à 99,999	Sans objet	Aucune limite spécifiée dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Fréquence Gain de l'antenne d'émission Gain de l'antenne de réception Géométrie du trajet
Rec. UIT-R P.618	Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication Terre-espace	Satellite	Point à point	Affaiblissement de propagation Gain de diversité et XPD ⁽²⁾ (en présence des précipitations)	1 à 55 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	0,001-5 pour l'affaiblissement dû à la pluie 0,001-50 pour l'affaiblissement total 0,001-1 pour XPD ⁽²⁾ Mois le plus défavorable pour l'affaiblissement	Sans objet	Aucune limite	Données météorologiques Fréquence Angle d'élévation Hauteur de la station terrestre Distance et angle entre les emplacements des stations terrestres (pour le gain de diversité) Diamètre des antennes et efficacité (pour la scintillation) Angle de polarisation (pour XPD ⁽²⁾)

TABLEAU 1 (suite)

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.619	Données sur la propagation nécessaires à l'évaluation des brouillages entre des stations dans l'espace et des stations situées à la surface de la Terre	Satellite	Point à point	Affaiblissement de transmission de référence pour un brouillage dû à une source unique Affaiblissement de transmission de référence par temps clair pour un brouillage dû à plusieurs sources	0,1 à 100 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	0,001 à 50	Sans objet	Aucune limite	Fréquence Angle d'élévation de la station terrienne Espacement angulaire des trajets Longueur de trajet Affaiblissement dû aux gaz «Gain» lié à la scintillation Affaiblissement maximal autorisé du signal utile
Rec. UIT-R P.620	Données sur la propagation nécessaires au calcul des distances de coordination dans la gamme de fréquences 100 MHz à 105 GHz	Coordination en fréquence de la station terrienne	Distance de coordination	Distance à partir de laquelle on obtient l'affaiblissement de propagation requis	100 MHz à 105 GHz	Jusqu'à 1 200 km	0,001 à 50	Sans objet	Aucune limite spécifiée dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Affaiblissement de transmission minimum de base Fréquence Pourcentage de temps Angle d'élévation de la station terrienne
Rec. UIT-R P.678	Caractérisation de la variabilité des phénomènes de propagation et estimation du risque associé à la marge de propagation	Modèles d'intensité de pluie Satellite	Point à point	Variabilité des phénomènes de propagation	12 à 50 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	0,01-2 pour l'intensité des précipitations et l'affaiblissement dû à la pluie le long des trajets obliques	Sans objet	Aucune limite	Probabilité de dépassement
Rec. UIT-R P.679	Données de propagation nécessaires pour la conception des systèmes de radiodiffusion par satellite	Radiodiffusion par satellite	Point à zone	Affaiblissement de transmission de référence supplémentaire Effets de l'environnement local	0,5 à 5,1 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	Sans objet	Aucune limite spécifiée	Aucune limite spécifiée	Fréquence Angle d'élévation Caractéristiques de l'environnement local
Rec. UIT-R P.680	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication mobiles maritimes Terre-espace	Service mobile maritime par satellite	Point à point	Évanouissements dus à la surface de la mer Durée des évanouissements Brouillage (satellite adjacent)	0,8 à 8 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	Jusqu'à 0,001% par la distribution de Rice-Nakagami Limite de 0,01% pour le brouillage ⁽¹⁾	Sans objet	Aucune limite	Fréquence Angle d'élévation Gain maximum de l'antenne dans la direction de visée
Rec. UIT-R P.681	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication mobiles terrestres Terre-espace	Service mobile terrestre par satellite	Point à point	Évanouissements sur le trajet Durée des évanouissements Durée des intervalles sans évanouissement	0,8 à 20 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	Sans objet Pourcentage de la distance parcourue 1 à 80% ⁽¹⁾	Sans objet	Aucune limite	Fréquence Angle d'élévation Pourcentage de la distance parcourue Niveau approximatif de l'occultation optique

TABLEAU 1 (suite)

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.682	Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication aéronautiques mobiles Terre-espace	Service mobile aéronautique par satellite	Point à point	Évanouissements dus à la surface de la mer Propagation par trajet multiple depuis le sol et l'aéronef pendant l'atterrissage	1 à 2 GHz (évanouissements dus à la surface de la mer) 1 à 3 GHz (propagation par trajet multiple depuis le sol)	Toute hauteur d'orbite utilisable	Jusqu'à 0,001% par la distribution de Rice-Nakagami ⁽¹⁾	Sans objet	Aucune limite pour les évanouissements dus à la surface de la mer Jusqu'à 1 km pour la réflexion par le sol pendant l'atterrissage	Fréquence Angle d'élévation Polarisation Gain maximum de l'antenne dans la direction de visée Hauteur des antennes
Rec. UIT-R P.684	Prévision du champ aux fréquences inférieures à 150 kHz environ	Service fixe Service mobile	Point à point Point à zone	Champ de l'onde ionosphérique	30 à 150 kHz	0 à 16 000 km	50	Sans objet	Sans objet	Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Distance Puissance de l'émetteur Fréquence Constantes du sol Saison Nombre de taches solaires Heure du jour
Rec. UIT-R P.843	Communications utilisant la propagation par impulsions météoriques	Service fixe Service mobile Radiodiffusion	Point à point par l'intermédiaire d'impulsions météoriques	Puissance reçue Taux d'impulsions	30 à 100 MHz	100 à 1 000 km	0 à 5	Sans objet	Sans objet	Fréquence Distance Puissance de l'émetteur Gain des antennes
Rec. UIT-R P.1147	Prévision du champ de l'onde ionosphérique pour les fréquences comprises entre 150 et 1 700 kHz environ	Radiodiffusion	Point à zone	Champ de l'onde ionosphérique	0,15 à 1,7 MHz	50 à 12 000 km	1, 10, 50	Sans objet	Sans objet	Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Distance Nombre de taches solaires Puissance de l'émetteur Fréquence

TABLEAU 1 (suite)

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.1238	Données de propagation et méthodes de prévision pour la planification de systèmes de radiocommunication et de réseaux locaux hertziens destinés à fonctionner à l'intérieur des bâtiments à des fréquences comprises entre 300 MHz et 100 GHz	Service mobile Réseaux locaux hertziens	Méthodes de propagation à l'intérieur des bâtiments	Affaiblissement de transmission de référence Étalement du temps de propagation	300 MHz à 450 GHz	À l'intérieur des bâtiments	Sans objet	Sans objet	Base: environ 2-3 m Mobile: environ 0,5-3 m	Fréquence Distance Facteurs relatifs aux planchers et aux murs
Rec. UIT-R P.1410	Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de systèmes d'accès radioélectrique de Terre à large bande fonctionnant entre 3 et 60 GHz	Accès radio à large bande	Point à zone	Couverture Réduction de la couverture temporelle due aux précipitations	3 à 60 GHz	0-5 km	0,001 à 1 (pour calculer la réduction de la couverture due aux précipitations)	Jusqu'à 100	Aucune limite; 0-300 m (cas typique)	Fréquence Taille des cellules Hauteur des structures terminales Paramètres statistiques concernant la hauteur des bâtiments
Rec. UIT-R P.1411	Données de propagation et méthodes de prévision pour la planification de systèmes de radiocommunication, à courte portée, destinés à fonctionner à l'extérieur de bâtiments et de réseaux locaux hertziens dans la gamme de fréquences comprises entre 300 MHz et 100 GHz	Service mobile	Méthodes de propagation sur des trajets de courte distance	Affaiblissement de transmission de référence Étalement du temps de propagation	300 MHz à 100 GHz	< 1 km	Sans objet	Sans objet	Base: environ 4-50 m Mobile: environ 0,5-3 m	Fréquence Distance Dimension des rues Hauteur des structures

TABLEAU 1 (suite)

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.1546	Méthode de prévision de la propagation point à zone pour les services de Terre entre 30 MHz et 4 000 MHz	Services de Terre	Point à zone	Champ	30 à 4 000 MHz	1 à 1 000 km	1 à 50	1 à 99	Émetteur/base: hauteur équivalente de moins de 0 m à 3 000 m Récepteur/mobile: ≥ 1 m	Hauteur du sol et couverture du sol (facultatif) Classe du trajet Distance Hauteur de l'antenne d'émission Fréquence Pourcentage de temps Hauteur de l'antenne de réception Angle de dégagement du terrain Pourcentage d'emplacements Gradient du coïncide
Rec. UIT-R P.1622	Méthodes de prévision requises pour la conception des systèmes Terre-espace fonctionnant entre 20 et 375 THz	Liaisons optiques par satellite	Point à point	Affaiblissement par absorption Affaiblissement par diffusion Bruit de fond Scintillation d'amplitude Angle d'arrivée Excursion du faisceau Étalement du faisceau	20 à 375 THz	Liaisons optiques Terre vers espace de champ lointain	Sans objet	Sans objet	Aucune limite	Longueur d'onde Hauteur du terminal Angle d'élévation Paramètre de structure des turbulences
Rec. UIT-R P.1623	Méthode de prévision de la dynamique des évanouissements sur les trajets Terre vers espace	Satellite	Point à point	Durée de l'évanouissement, pente de l'évanouissement	10 à 50 GHz	Toute hauteur d'orbite utilisable	Sans objet	Sans objet	Aucune limite	Fréquence Angle d'élévation Seuil d'affaiblissement Largeur de bande du filtre
Rec. UIT-R P.1812	Méthode de prévision de la propagation fondée sur le trajet pour les services de Terre point à zone dans la gamme de fréquences 30 MHz à 6 000 Mhz	Services de Terre	Point à zone	Champ	30 à 6 000 MHz	Pas précisé mais jusqu'à et au-delà de l'horizon radioélectrique	1 à 50	1 à 99	Aucune limite spécifiée dans la couche de surface de l'atmosphère (ne s'applique pas pour les applications aéronautiques)	Données de profil de trajet Fréquence Pourcentage de temps Hauteur de l'antenne d'émission Hauteur de l'antenne de réception Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Données météorologiques Polarisation

TABLEAU 1 (*fin*)

Méthode	Titre	Domaine d'application	Type	Données de sortie	Fréquences	Distance	Pourcentage du temps	Pourcentage des emplacements	Hauteur des terminaux	Données d'entrée
Rec. UIT-R P.1814	Méthodes de prévision nécessaires pour la conception de liaisons optiques de Terre en espace libre	Liaisons optiques de Terre	Point à point	Affaiblissement par absorption Affaiblissement par diffusion Bruit de fond Scintillation d'amplitude Étalement du faisceau	20 à 375 THz	Aucune limite	Sans objet	Sans objet	Aucune limite	Longueur d'onde Visibilité (en présence de brouillard) Longueur du trajet Paramètre de structure des turbulences
Rec. UIT-R P.1853	Synthèse de séries temporelles relatives à l'affaiblissement troposphérique	Liaisons de Terre et liaisons par satellite	Point à point	Affaiblissement dû à la pluie pour les trajets de Terre Affaiblissement total et scintillation troposphérique pour les trajets Terre vers espace	4 à 40 GHz pour les trajets de Terre 4 à 55 GHz pour les trajets Terre vers espace	Entre 2 et 60 km pour les trajets de Terre Satellite GEO	Sans objet	Sans objet	Aucune limite	Données météorologiques Fréquence Angle d'élévation Hauteur de la station terrienne Espacement et angles entre les sites de station terrienne (pour le gain de diversité) Diamètre et rendement d'antenne (pour la scintillation)
Rec. UIT-R P.2001	Modèle général de large portée pour la propagation sur des trajets de Terre dans la gamme des fréquences comprises entre 30 MHz et 50 GHz	Services de Terre	Point à point	Affaiblissement de transmission de référence	30 MHz à 50 GHz	3 à 1 000 km	0,001 à 99,999	Sans objet	«Moins de 8 000 m au-dessus du niveau moyen de la mer mais à proximité du sol, dans la troposphère»	Données relatives au profil du trajet Fréquence Pourcentage de temps Hauteur de l'antenne d'émission, gain et direction azimutale Hauteur de l'antenne de réception, gain et direction azimutale Latitude et longitude de l'émetteur Latitude et longitude du récepteur Polarisation
Rec. UIT-R P.2041	Prévision de l'affaiblissement sur des liaisons entre une plate-forme aéroportée et l'espace et entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre	Plate-forme aéroportée	Point à point	Affaiblissement total	1 à 55 GHz	N'importe quelle hauteur	0,001 à 50	Sans objet	Entre la surface de la Terre et l'espace	Données météorologiques Fréquence Angle d'élévation Disponibilité Hauteur de la plate-forme aéroportée Diamètre et rendement de l'antenne (pour la scintillation)

(1) Pourcentage du temps d'interruption; pour la disponibilité de service, soustraire la valeur de 100.

(2) XPD: discrimination de polarisation croisée.

TABLEAU 2

Produits numériques de l'UIT-R pour les méthodes de prévision de la propagation des ondes radioélectriques

Recommandation UIT-R	Description	Résolution de la grille	Interpolation spatiale nécessaire (voir l'Annexe 1)	Interpolation en termes de probabilité	Interpolation de la variable	Commentaires
P.452	Valeur médiane annuelle de ΔN Valeur médiane annuelle de N_0	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.453	Distributions de probabilité annuelle et mensuelle du terme humide du coïndice de réfraction à la surface de la Terre (Nwet)	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilinéaire	Logarithmique	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	<ul style="list-style-type: none"> • Gradient du coïndice de réfraction dans les 65 premiers mètres de l'atmosphère (unités N/km) • Gradient du coïndice de réfraction dans le premier kilomètre de l'atmosphère (unités N/km) • Pourcentage de temps pendant lequel le gradient du coïndice de réfraction dans les 100 premiers mètres est inférieur à -100 unités N/km 	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilinéaire	Non défini	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	Données sur les conduits en surface	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Non défini	Sans objet	Cf. la page web du Logiciel pour la propagation ionosphérique et troposphérique et le bruit radioélectrique
	Données sur les conduits élevés	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Non défini	Sans objet	Cf. la page web du Logiciel pour la propagation ionosphérique et troposphérique et le bruit radioélectrique
P.530	$\text{Log}K$ logarithme de $K\%$, le facteur géoclimatique pour le mois moyen le plus défavorable.	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilinéaire	Non défini	Linéaire	Voir la Recommandation pour l'application et l'utilisation de ces ensembles de données.
	dN_{75} prédiction empirique de 0,1% de l'augmentation de la réfractivité moyenne du mois le plus défavorable avec la hauteur sur les 75 m les plus bas de l'atmosphère	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilinéaire	Non défini	Linéaire	Voir la Recommandation pour l'application et l'utilisation de ces ensembles de données.
P.534	Dépassement de la valeur foEs pendant certains pourcentages de temps annuels	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Linéaire	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.617	Valeur médiane annuelle de ΔN Valeur médiane annuelle de N_0	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾

TABLEAU 2 (suite)

Recommandation UIT-R	Description	Résolution de la grille	Interpolation spatiale nécessaire (voir l'Annexe 1)	Interpolation en termes de probabilité	Interpolation de la variable	Commentaires
P.678	Carte du coefficient climatique	0,5° × 0,5°	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.834	• Coefficients harmoniques de la longueur supplémentaire du trajet le long des trajets Terre-espace	1,5° × 1,5°	Bilinéaire	Non défini	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	• Coefficients harmoniques des fonctions de mappage pour les composantes hydrostatique et humide	5° × 5°	Non nécessaire			
P.835	Données expérimentales des profils atmosphériques verticaux (Annexe 2)	353 emplacements	Non nécessaire	Sans objet	Sans objet	Cf. la page web du Logiciel pour la propagation ionosphérique et troposphérique et le bruit radioélectrique
	Données de prévision météorologique pour les profils atmosphériques verticaux (Annexe 3)	1,5° × 1,5°	Non spécifiée	Sans objet	Sans objet	Cf. la page web du Logiciel pour la propagation ionosphérique et troposphérique et le bruit radioélectrique
P.836	Probabilité de dépassement du contenu total d'une colonne d'air en vapeur d'eau (%) (densité de vapeur d'eau intégrée) (IWVC)	1,125° × 1,125°	Bilinéaire ⁽¹⁾	Logarithmique	Linéaire	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	Probabilité de dépassement de la concentration en vapeur d'eau à la surface de la Terre (%) (Rho)	1,125° × 1,125°	Bilinéaire ⁽¹⁾	Logarithmique	Linéaire	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	Hauteur d'échelle de la vapeur d'eau	1,125° × 1,125°	Bilinéaire ⁽¹⁾	Logarithmique	Linéaire	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	Hauteur topographique (au-dessus du niveau moyen de la mer) (km)	0,5° × 0,5°	Bicubique	Sans objet	Sans objet	Cf. la Recommandation
P.837	Précipitations totales mensuelles moyennes (mm)	0,25° × 0,25°	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	R _{0,01} (mm/h)	0,125° × 0,125°	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	
	Conversion des statistiques d'intensité de pluie pour différentes durées d'intégration (Annexe 2)	Sans objet	Non nécessaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.839	Hauteur moyenne annuelle de l'isotherme 0°C (km)	1,5° × 1,5°	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾

TABLEAU 2 (suite)

Recommandation UIT-R	Description	Résolution de la grille	Interpolation spatiale nécessaire (voir l'Annexe 1)	Interpolation en termes de probabilité	Interpolation de la variable	Commentaires
P.840	Statistiques annuelles et mensuelles (valeur moyenne, écart type, fonction de distribution cumulative complémentaire (FDCC)) du contenu intégré d'une colonne en eau liquide de nuage Approximation du contenu intégré annuel en eau liquide de nuage par une distribution log-normale	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilinéaire	Logarithmique	Linéaire	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.1510	Température mensuelle ou annuelle moyenne de surface	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.1511	Hauteur topographique (au-dessus du niveau moyen de la mer) (m)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	Bicubique	Sans objet	Sans objet	Cette Recommandation contient les définitions de la latitude, de la longitude et de la hauteur pour les Recommandations de la série P. Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
	Modèle gravitationnel de la Terre de 2008 (EGM2008) (m)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	Bicubique	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.1812	Valeur médiane annuelle de ΔN Valeur médiane annuelle de N_0	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾
P.1853	Pression de surface moyenne annuelle Moyenne annuelle de la densité de vapeur d'eau	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilinéaire	Sans objet	Sans objet	WV_Annual.txt P_Annual.txt
P.2001	Coïndice de réfraction au niveau de la surface et gradient dans le premier km de l'atmosphère	Multiple	Bilinéaire	Sans objet	Linéaire	Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables ⁽²⁾

TABLEAU 2 (*fin*)

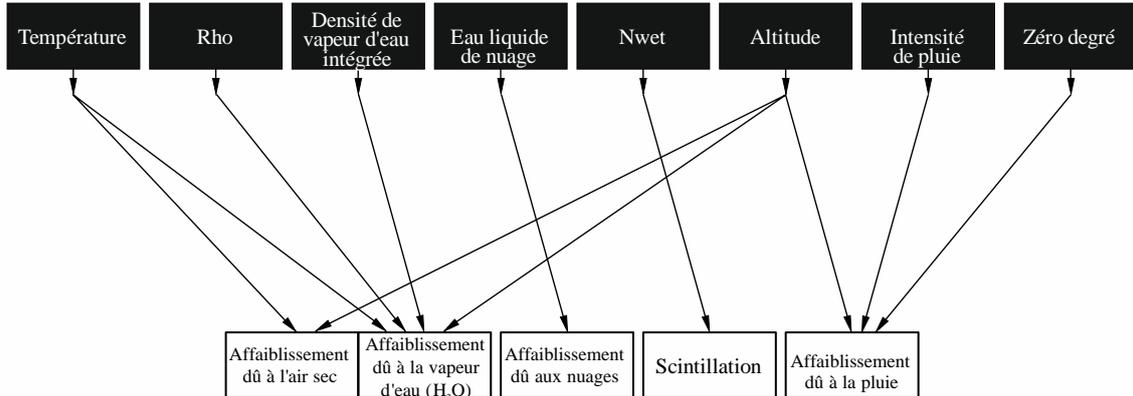
Recommandation UIT-R	Description	Résolution de la grille	Interpolation spatiale nécessaire (voir l'Annexe 1)	Interpolation en termes de probabilité	Interpolation de la variable	Commentaires
P.2001 et P.534	Fréquence critique pour la couche <i>E</i> sporadique (F_0E_s)	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilinéaire	Linéaire	Linéaire	FoEs50.txt FoEs10.txt FoEs01.txt FoEs0.1.txt
P.2145	Statistiques annuelles et mensuelles (valeur moyenne, écart type, FDCC) de la pression de surface Statistiques annuelles et mensuelles (valeur moyenne, écart type, FDCC) de la température de surface Statistiques annuelles et mensuelles (valeur moyenne, écart type, FDCC) de la densité de vapeur d'eau à la surface de la Terre Statistiques annuelles et mensuelles (valeur moyenne, écart type, FDCC) de la densité de vapeur d'eau intégrée Approximation de la densité de vapeur d'eau intégrée annuelle par une distribution de Weibull	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilinéaire	Logarithmique	Linéaire	Cf. la Recommandation
P.2148	Statistiques annuelles de la vitesse du vent à une hauteur de 10 m au-dessus de la surface de la Terre	$0,25^\circ \times 0,25^\circ$	Bilinéaire	Logarithmique	Linéaire	Cf. la Recommandation

⁽¹⁾ Les variables aux points de grille environnants sont ajustées à l'altitude souhaitée avant interpolation spatiale selon la procédure d'ajustement définie dans la Recommandation.

⁽²⁾ Le fichier Readme est contenu dans le fichier Zip (Components) accessible sur la page web associée à la Recommandation.

À toutes fins utiles, la Fig. 1 illustre la relation entre les cartes géophysiques (cases noires) et les effets de la propagation (cases blanches).

FIGURE 1



P.1144-01

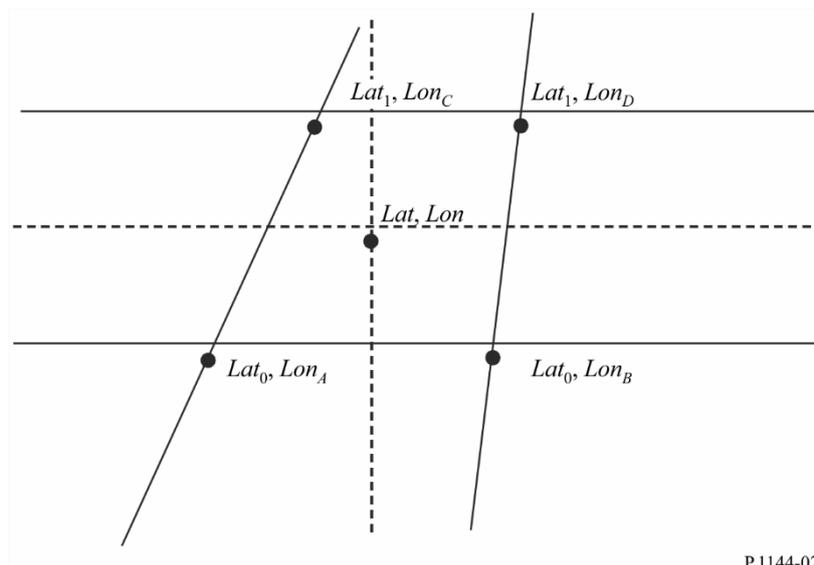
Annexe 1

1a Interpolation bilinéaire sur une grille trapézoïdale

Énoncé: Valeurs de X en quatre points environnants: (Lat_1, Lon_C) , (Lat_1, Lon_D) , (Lat_0, Lon_A) et (Lat_0, Lon_B) ; à savoir $X(Lat_1, Lon_C)$, $X(Lat_1, Lon_D)$, $X(Lat_0, Lon_A)$ et $X(Lat_0, Lon_B)$.

Problème: Déterminer par interpolation bilinéaire la valeur $X(Lat, Lon)$ au point (Lat, Lon) concerné.

FIGURE 2



P.1144-02

Solution: Définir deux variables auxiliaires, t et s :

$$t = \frac{Lat - Lat_0}{Lat_1 - Lat_0}$$

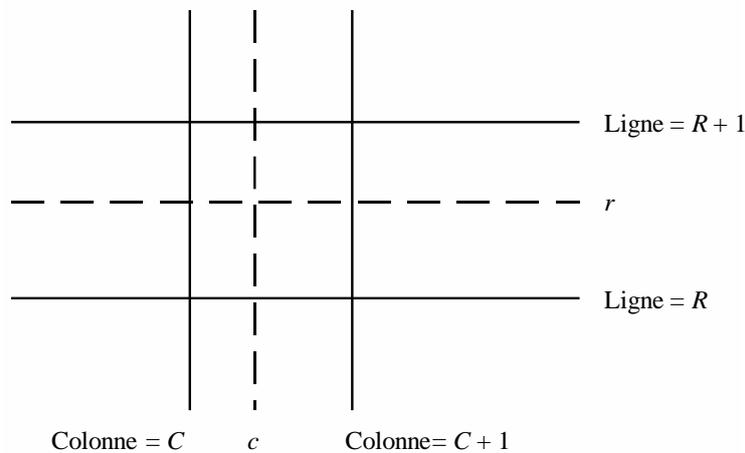
$$s = \frac{Lon - Lon_A + t (Lon_A - Lon_C)}{Lon_B - Lon_A + t (Lon_A - Lon_C + Lon_D - Lon_B)}$$

et calculer:

$$X(Lat, Lon) = (1 - s) (1 - t) X(Lat_0, Lon_A) \\ + (1 - s) t X(Lat_1, Lon_C) \\ + s (1 - t) X(Lat_0, Lon_B) \\ + t s X(Lat_1, Lon_D)$$

1b Interpolation bilinéaire sur une grille carrée

FIGURE 3



P.1144-03

Énoncé: Valeurs de I en quatre points de grille environnants: $I(R, C)$, $I(R, C + 1)$, $I(R + 1, C)$ et $I(R + 1, C + 1)$, où $R, R + 1, C$ et $C + 1$ sont des nombres entiers désignant des lignes et des colonnes.

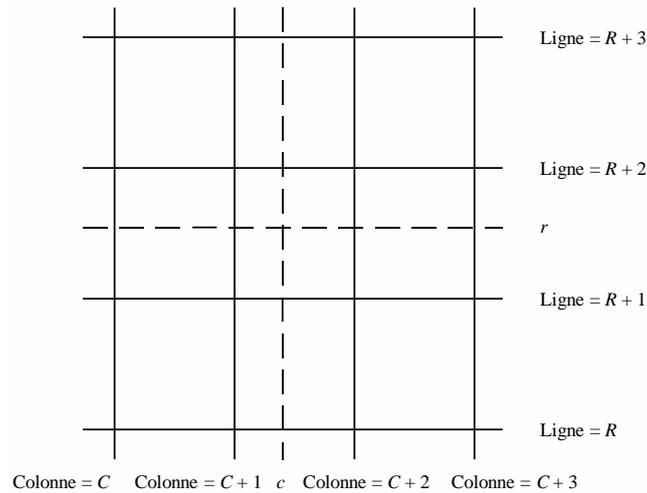
Problème: Déterminer par interpolation bilinéaire $I(r, c)$, où r est un nombre à virgule compris entre R et $R + 1$ désignant une ligne et c un nombre à virgule compris entre C et $C + 1$ désignant une colonne.

Solution: Calculer:

$$I(r, c) = I(R, C) [(R + 1 - r)(C + 1 - c)] \\ + I(R + 1, C) [(r - R)(C + 1 - c)] \\ + I(R, C + 1) [(R + 1 - r)(c - C)] \\ + I(R + 1, C + 1) [(r - R)(c - C)]$$

2 Interpolation bicubique

FIGURE 4



P.1144-04

Énoncé: Valeurs de I en 16 points de grille environnants:

$$I(R, C), I(R, C + 1), I(R, C + 2), I(R, C + 3),$$

$$I(R + 1, C), I(R + 1, C + 1), I(R + 1, C + 2), I(R + 1, C + 3),$$

$$I(R + 2, C), I(R + 2, C + 1), I(R + 2, C + 2), I(R + 2, C + 3),$$

$$I(R + 3, C), I(R + 3, C + 1), I(R + 3, C + 2), I(R + 3, C + 3).$$

où $R, R + 1, \text{etc.}$; et $C, C + 1, \text{etc.}$ sont des entiers.

Problème: Calculer par interpolation bicubique $I(r, c)$, où r est un nombre à virgule compris entre $R + 1$ et $R + 2$ désignant une ligne et c un nombre à virgule compris entre $C + 1$ et $C + 2$ désignant une colonne.

Solution:

Étape 1: pour chaque ligne X , où $X = \{R, R + 1, R + 2, R + 3\}$, calculer la valeur interpolée pour la valeur de c souhaitée:

$$RI(X, c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X, j) K(c - j)$$

où:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a+2)|\delta|^3 - (a+3)|\delta|^2 + 1 & \text{pour } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{pour } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{pour } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

et

$$a = -0,5$$

Étape 2: Calculer $I(r,c)$ en interpolant les interpolations unidimensionnelles, $RI(R,c)$, $RI(R+1,c)$, $RI(R+2,c)$ et $RI(R+3,c)$ de la même façon que les interpolations pour les lignes.

3 Intégration par quadrature gaussienne

L'intégration par quadrature gaussienne permet d'obtenir une approximation précise d'une intégrale définie si, pour l'intégrande, $f(x)$, une bonne approximation est obtenue avec un polynôme de degré $2n-1$ ou moins sur l'intervalle d'intégration. La valeur de n doit être choisie en fonction de la précision de l'approximation souhaitée.

3.1 Intégrale simple

Pour une intégrale simple, une bonne approximation peut être obtenue à l'aide de l'intégration par quadrature gaussienne, avec:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}t\right) dt$$

$$\approx \sum_{i=1}^n W_i' f(X_i')$$

où:

$$W_i' = \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i$$

$$X_i' = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i$$

3.2 Intégrale double

Pour une intégrale double, une bonne approximation peut être obtenue à l'aide de l'intégration par quadrature gaussienne, avec:

$$\int_a^b \int_c^d f(x,y) dx dy = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) \left(\frac{d-c}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}s, \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2}t\right) ds dt$$

$$\approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i' Y_j' f(X_i', Z_j')$$

où:

$$W_i' = \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i$$

$$X_i' = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i$$

$$Y_j' = \left(\frac{d-c}{2}\right) W_j$$

$$Z_j' = \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2} X_j$$

3.3 Algorithme de calcul des points (nœuds) et des poids de la quadrature gaussienne

Cet algorithme calcule les points (nœuds), X_i , et les poids, W_i , pour $i = 1, 2, \dots, n$, où n est le nombre de points (nœuds) de la quadrature gaussienne. La variable eps est la précision du système à virgule flottante de la machine¹. Sur les machines qui prennent en charge l'arithmétique à virgule flottante IEEE, eps est d'environ $2,2204e-16$ pour la double précision. La fonction $floor(x)$ arrondit x à l'entier le plus proche inférieur ou égal à x .

Étape 1: Calculer $m = floor(\frac{n+1}{2})$

Répéter les étapes 2 à 13 pour $i = 1$ à m

Étape 2: Calculer $X_i = \cos\left(\frac{4i-1}{4n+2}\pi\right)$

Étape 3: Calculer $Pm1 = 1$ et $P = X_i$

Répéter les étapes 4 et 5 pour $j = 2$ à n

Étape 4: Calculer $Pm2 = Pm1$ et $Pm1 = P$

Étape 5: Calculer $P = \left(2 - \frac{1}{j}\right)X_i Pm1 - \left(1 - \frac{1}{j}\right)Pm2$

Étape 6: Calculer $P' = \frac{n \cdot (X_i \cdot P - Pm1)}{X_i^2 - 1}$

Étape 7: Calculer $\Delta = \frac{P}{P'}$

Étape 8: Calculer $X_i = X_i - \Delta$

Étape 9: Si $|\Delta| > eps$ alors passer à l'étape 3, sinon passer à l'étape 10

Étape 10: Calculer $Xlast = X_i + \Delta$

Étape 11: Calculer $Pm1' = \frac{(n-1) \cdot Xlast \cdot Pm1 - Pm2}{(Xlast^2 - 1)}$

Étape 12: Calculer $Pm1 = Pm1 - \Delta \cdot Pm1'$

Étape 13: Calculer $W_i = \frac{2(1-X_i^2)}{(n \cdot Pm1)^2}$

Répéter étape 14 pour $i = m + 1$ à n

Étape 14: Calculer $X_i = -X_{floor(\frac{n}{2})+m+1-i}$ et $W_i = W_{floor(\frac{n}{2})+m+1-i}$

¹ Des exemples de valeurs de X_i , les points de quadrature gaussienne, et de W_i , les poids de quadrature gaussienne, sont fournis dans un produit complémentaire sur le site web de la Commission d'études 3 de l'UIT-R sur les produits numériques.