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 |
|  | poids de la quadrature gaussienne |
|  | 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 précipitationsetmois 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 télécom-munication 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 terrienne Distance et angle entre les emplacements des stations terriennes (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 télécom-munication 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 (évanouis-sements 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 radiocom-munication 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 radiocom-munication, 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 Δ*N*  Valeur médiane annuelle de *N*0 | 1,5° × 1,5° | 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° × 0,75° | Bilinéaire | Logarithmique | Sans objet | Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables(2) |
| • 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° × 0,75° | 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° × 1,5° | 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° × 1,5° | Bilinéaire | Non défini | Sans objet | Cf. la page web du Logiciel pour la propagation ionosphérique et troposphérique et le bruit radioélectrique |
| P.530 | *LogK* logarithme de *K*%, le facteur géoclimatique pour le mois moyen le plus défavorable. | 0,25° × 0,25° | 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° × 0,25° | 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° × 1,5° | Bilinéaire | Linéaire | Sans objet | Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables(2) |
| P.617 | Valeur médiane annuelle de Δ*N*  Valeur médiane annuelle de *N*0 | 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.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  • Coefficients harmoniques des fonctions de mappage pour les composantes hydrostatique et humide | 1,5° × 1,5°  5° × 5° | Bilinéaire  Non nécessaire | Non défini | Sans objet | Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables(2) |
| 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) R0,01 (mm/h) | 0,25° × 0,25°  0,125° × 0,125° | Bilinéaire  Bilinéaire | Sans objet  Sans objet | Sans objet  Sans objet | Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables(2) |
| 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° × 0,25° | 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° × 0,75° | 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° × 0,08333° | 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° × 0,08333° | Bicubique | Sans objet | Sans objet | Cf. le fichier Readme associé pour les noms de fichier applicables(2) |
| P.1812 | Valeur médiane annuelle de Δ*N*  Valeur médiane annuelle de *N*0 | 1,5° × 1,5° | 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° × 0,75° | 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 *E* sporadique (*F*0*Es*) | 1,5° × 1,5° | 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° × 0,25° | 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° × 0,25° | 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



Annexe 1

# 1a Interpolation bilinéaire sur une grille trapézoïdale

*Énoncé*: Valeurs de *X* en quatre points environnants: , , et ; à savoir , , et .

*Problème*: Déterminer par interpolation bilinéaire la valeur au point concerné.

Figure 2

Line chart

Description automatically generated

*Solution:* Définir deux variables auxiliaires, et :

et calculer:

# 1b Interpolation bilinéaire sur une grille carrée

figure 3



*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*:Déterminerpar 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



*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**C* 1), *I*(*R*3,*C* 2), *I*(*R*3,*C*3)*.*

où *R*, *R*+ 1, etc.; et *C*, *C*+ 1, etc. sont des entiers*.*

*Problème*:Calculerpar 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:



où:



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 2*n*-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:

où:

## 3.2 Intégrale double

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

où:

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

Cet algorithme calcule les points (nœuds), , et les poids, , pour , où est le nombre de points (nœuds) de la quadrature gaussienne. La variable est la précision du système à virgule flottante de la machine[[1]](#footnote-1). Sur les machines qui prennent en charge l'arithmétique à virgule flottante IEEE, est d'environ 2,2204e-16 pour la double précision. La fonction arrondit *x* à l'entier le plus proche inférieur ou égal à .

Étape 1: Calculer

Répéter les étapes 2 à 13 pour à

Étape 2: Calculer

Étape 3: Calculer et

Répéter les étapes 4 et 5 pour

Étape 4: Calculer et

Étape 5: Calculer

Étape 6: Calculer

Étape 7: Calculer

Étape 8: Calculer

Étape 9: Si alors passer à l'étape 3, sinon passer à l'étape 10

Étape 10: Calculer

Étape 11: Calculer

Étape 12: Calculer

Étape 13: Calculer

Répéter étape 14 pour à

Étape 14: Calculer et

1. Des exemples de valeurs de , les points de quadrature gaussienne, et de , 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. [↑](#footnote-ref-1)