

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R P.2041
(09/2013)

**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**

Série P
Propagation des ondes radioélectriques



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 l'Annexe 1 de 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: <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	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, 2014

© UIT 2014

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.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

(2013)

Domaine d'application

La présente Recommandation traite de la prévision des divers effets de propagation à utiliser pour planifier les systèmes aéroportés fonctionnant dans le sens aéronef vers espace ou dans le sens aéronef vers Terre.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, lors de la conception de systèmes aéroportés, il est nécessaire de connaître avec précision l'incidence de la propagation des ondes radioélectriques entre une plate-forme aéroportée et un satellite et entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre;
- b) que les plates-formes aéroportées peuvent être situées à une altitude quelconque comprise entre la surface de la Terre et le sommet de la stratosphère;
- c) que les systèmes peuvent fonctionner au-delà de la visibilité directe;
- d) que les bandes de fréquences utilisées peuvent être comprises entre 30 MHz et 50 GHz ou plus,

notant

- a) que l'UIT-R a établi et testé des méthodes de prévision des dégradations moyennes à long terme dues aux effets atmosphériques (par exemple affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère, affaiblissement dû à la pluie, affaiblissement dû aux nuages et affaiblissement dû à la scintillation) entre un terminal situé à la surface de la Terre et l'espace;
- b) que ces méthodes UIT-R de prévision de la propagation Terre vers espace peuvent être adaptées pour prévoir la qualité de fonctionnement des liaisons entre une plate-forme aéroportée et un satellite et entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre,

recommande

d'utiliser les méthodes de prévision suivantes pour prévoir les dégradations moyennes à long terme (par exemple affaiblissement et évanouissements dus à la scintillation) dues aux effets atmosphériques entre une plate-forme aéroportée et un satellite et entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre.

1 Relation avec d'autres Recommandations UIT-R

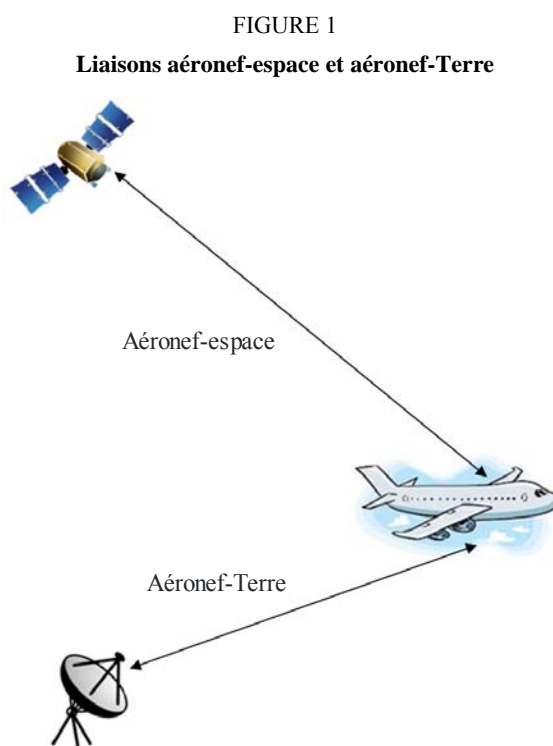
D'autres Recommandations de la série P traitent de la propagation depuis des plates-formes aéroportées: la Recommandation UIT-R P.528 – Courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique; et la Recommandation UIT-R P.682 – Données de propagation nécessaires pour la conception de systèmes de télécommunication aéronautiques mobiles Terre-espace.

- La Recommandation UIT-R P.528 traite de la prévision des valeurs de l'affaiblissement de transmission de référence aux fréquences comprises entre 125 MHz et 15,5 GHz entre deux

antennes pour diverses hauteurs et distances. Le modèle est avant tout conçu pour prendre en considération les effets de la propagation par trajets multiples, de la diffraction et de la diffusion troposphérique, mais il tient compte aussi de modèles simples d'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et à la pluie qui s'appliquent de manière générale dans les zones tempérées continentales. Par conséquent, ce modèle n'est pas applicable pour des fréquences plus élevées et pour des climats différents pour lesquels on observe surtout un affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère, à la pluie et aux nuages.

- La Recommandation UIT-R P.682 traite des effets troposphériques, des effets ionosphériques, des évanouissements dus aux réflexions à la surface de la Terre et de la diffusion entre une plate-forme aéroportée et l'espace aux fréquences voisines de 1,5 GHz.

Les liaisons aéronef-espace et aéronef-Terre sont représentées à la Fig. 1.

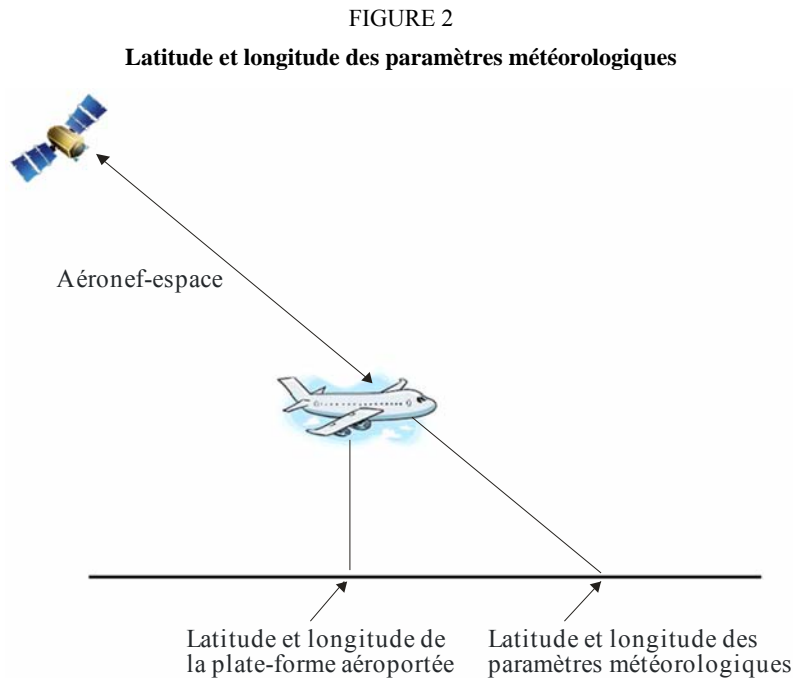


P.2041-01

Les méthodes de prévision suivantes sont considérées comme approximativement correctes, mais elles n'ont pas été testées et validées à l'aide de données de mesure.

2 Note concernant l'utilisation des cartes météorologiques numériques

Il existe diverses cartes de paramètres météorologiques en fonction de la latitude et de la longitude à la surface de la Terre. Pour un trajet entre une plate-forme aéroportée et l'espace, les divers paramètres météorologiques devraient être déterminés à l'intersection entre ce trajet et la surface de la Terre et non au point de la surface de la Terre correspondant à la latitude et à la longitude de la plate-forme aéroportée. Cette distinction, représentée à la Fig. 2, est importante car certains paramètres météorologiques sont définis à la surface de la Terre (par exemple température à la surface de la Terre, et terme humide du coindice de réfraction).



P.2041-02

3 Note concernant la cohérence de la notation

En ce qui concerne la probabilité de dépassement, les Recommandations UIT-R P.836 et UIT-R P.618 utilisent la variable p , tandis que la Recommandation UIT-R P.676 utilise la variable P . On utilisera la variable p dans ce qui suit.

4 Applicabilité des méthodes de prévision

Ces méthodes de prévision s'appliquent aux liaisons entre une plate-forme aéroportée et l'espace et entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre, dans les conditions suivantes:

- fréquence ≤ 55 GHz;
- angle d'élévation (φ) par rapport au plan horizontal local $\geq 5^\circ$.

En fonction de la fréquence et de l'angle d'élévation, il pourra être nécessaire de prendre en considération les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples (voir la Recommandation UIT-R P.528); et en fonction de l'emplacement, de l'heure du jour et de l'activité solaire, il pourra être nécessaire de prendre en considération la scintillation ionosphérique aux fréquences inférieures à environ 6 GHz (voir la Recommandation UIT-R P.531).

5 Affaiblissement entre une plate-forme aéroportée et l'espace

5.1 Méthode de prévision de l'affaiblissement total

Si la plate-forme aéroportée est au-dessous de l'altitude de la pluie.

Comme dans la Recommandation UIT-R P.618, l'affaiblissement total entre une plate-forme aéroportée et l'espace, $A_T^{AS}(p)$, est calculé comme suit:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + \sqrt{\left(A_R^{AS}(p) + A_C^{AS}(p)\right)^2 + \left(A_S^{AS}(p)\right)^2} \quad (1)$$

où:

$A_R^{AS}(p)$: affaiblissement dû à la pluie pour une probabilité fixe (dB)

$A_C^{AS}(p)$: affaiblissement dû aux nuages pour une probabilité fixe (dB)

$A_G^{AS}(p)$: affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère – vapeur d'eau et oxygène – pour une probabilité fixe (dB)

$A_S^{AS}(p)$: évanouissements dus à la scintillation troposphérique pour une probabilité fixe (dB)

et

$$A_C^{AS}(p) = A_C^{AS}(1\%) \quad \text{pour } p < 1,0\% \quad (2a)$$

$$A_G^{AS}(p) = A_G^{AS}(1\%) \quad \text{pour } p < 1,0\% \quad (2b)$$

Si la plate-forme aéroportée est au-dessus de l'altitude de la pluie.

L'affaiblissement total entre une plate-forme aéroportée et l'espace, $A_T^{AS}(p)$, est calculé comme suit:

$$A_T^{AS}(p) = A_G^{AS}(p) + A_C^{AS}(p) \quad (3)$$

où:

$A_C^{AS}(p)$: affaiblissement dû aux nuages pour une probabilité fixe (dB)

$A_G^{AS}(p)$: affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère – vapeur d'eau et oxygène – pour une probabilité fixe (dB)

et

$$p \geq 0,1\%.$$

Pour les trajets Terre vers espace, l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère, l'affaiblissement dû aux nuages, l'affaiblissement dû à la pluie et les évanouissements dus à la scintillation sont estimés à l'aide des diverses cartes météorologiques numériques associées, généralement sur une grille $1,125^\circ \times 1,125^\circ$. Les paragraphes qui suivent décrivent la méthode d'ajustement des méthodes de prévision applicables aux trajets Terre vers espace pour les trajets entre une plate-forme aéroportée et l'espace.

5.2 Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère

Conformément à la Recommandation UIT-R P.676, la prévision de l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère pour un trajet Terre vers espace est calculée comme suit:

$$A_G(p) = \frac{A_o + A_w(p)}{\sin \varphi} \quad (4)$$

Pour un trajet entre une plate-forme aéroportée et l'espace, l'affaiblissement correspondant dû aux gaz de l'atmosphère est donné par:

$$A_G^{AS}(p) = \frac{A_o^{AS} + A_w^{AS}(p)}{\sin \varphi} \quad (5)$$

La prévision de A_o^{AS} est calculée comme suit:

$$A_o^{AS} = A_o e^{-\text{altitude}/h_o} \quad (6)$$

où *altitude* est l'altitude au-dessus de la surface de la Terre, et h_o est obtenu à partir de la Recommandation UIT-R P.676 pour la fréquence considérée et r_p à la surface de la Terre.

La prévision de $A_w^{AS}(p)$ est calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.676, où $V_t(p)$ est obtenu à partir de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R P.836, et alt est l'altitude de la plate-forme aéroportée au-dessus du niveau moyen de la mer spécifiée au § 1 e) de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R P.836.

5.3 Affaiblissement dû aux nuages

Il est difficile de prévoir l'affaiblissement dû aux nuages entre une plate-forme aéroportée et l'espace car les types de nuages varient en fonction de l'altitude et présentent des dimensions verticales différentes. Toutefois, une approche prudente consiste à supposer que la base des nuages est située à l'altitude de la pluie spécifiée dans la Recommandation UIT-R P.839 et que les nuages culminent à 6 km. L'affaiblissement dû aux nuages est calculé conformément à la Recommandation UIT-R P.840 comme suit: pour le contenu total d'une colonne d'air en eau liquide de nuage, on utilise une valeur de 100% pour les altitudes inférieures à l'altitude de la pluie, une valeur de 0% pour les altitudes supérieures au sommet des nuages, et une transition linéaire entre la base des nuages et leur sommet.

5.4 Affaiblissement dû à la pluie

La prévision de l'affaiblissement dû à la pluie est calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.618, dans laquelle la longueur du trajet oblique, L_s , est calculée à partir de h_s , l'altitude de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer. Pour un trajet entre une plate-forme aéroportée et l'espace, h_s est remplacé par l'altitude de la plate-forme aéroportée au-dessus du niveau moyen de la mer et la contrainte suivante s'applique: si h_s est supérieur ou égal à h_R , l'affaiblissement dû à la pluie est de 0 dB.

5.5 Evanouissements dus à la scintillation troposphérique

La prévision des évanouissements dus à la scintillation troposphérique est calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.618. Si la plate-forme aéroportée est située à une altitude inférieure à l'altitude de la pluie spécifiée dans la Recommandation UIT-R P.839, on calcule la scintillation troposphérique en prenant comme hypothèse que la plate-forme aéroportée est située à la surface de la Terre. Si la plate-forme aéroportée est située à une altitude supérieure à l'altitude de la pluie spécifiée dans la Recommandation UIT-R P.839, la scintillation troposphérique est ignorée.

6 Affaiblissement entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre

6.1 Méthode de prévision de l'affaiblissement total

Comme dans la Recommandation UIT-R P.618, l'affaiblissement total entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre, $A_T^{AE}(p)$, est calculé comme suit:

$$A_T^{AE}(p) = A_G^{AE}(p) + \sqrt{(A_R^{AE}(p) + A_C^{AE}(p))^2 + (A_S^{AE}(p))^2} \quad (7)$$

où:

- $A_R^{AE}(p)$: affaiblissement dû à la pluie pour une probabilité fixe (dB)
- $A_C^{AE}(p)$: affaiblissement dû aux nuages pour une probabilité fixe (dB)
- $A_G^{AE}(p)$: affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère – vapeur d'eau et oxygène – pour une probabilité fixe (dB)
- $A_S^{AE}(p)$: évanouissements dus à la scintillation troposphérique pour une probabilité fixe (dB)

et

$$A_C^{AE}(p) = A_C^{AE}(1\%) \quad \text{pour } p < 1,0\% \quad (8a)$$

$$A_G^{AE}(p) = A_G^{AE}(1\%) \quad \text{pour } p < 1,0\% \quad (8b)$$

6.2 Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère

La prévision de $A_G^{AE}(p)$ est calculée comme suit:

$$A_G^{AE}(p) = A_G(p) - A_G^{AS}(p) \quad (9)$$

où:

$A_G(p)$: affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère entre la surface de la Terre et l'espace le long du même trajet

$A_G^{AS}(p)$: calculé conformément à la formule (5).

6.3 Affaiblissement dû aux nuages

Il est difficile de prévoir l'affaiblissement dû aux nuages entre une plate-forme aéroportée et la surface de la Terre car les types de nuages varient en fonction de l'altitude et présentent des dimensions verticales différentes. Toutefois, une approche prudente consiste à utiliser la prévision de l'affaiblissement dû aux nuages calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.840 pour toutes les altitudes.

6.4 Affaiblissement dû à la pluie

La prévision de $A_R^{AE}(p)$ est calculée comme suit:

$$A_R^{AE}(p) = A_R(p) - A_R^{AS}(p) \quad (10)$$

où $A_R(p)$ est l'affaiblissement dû à la pluie entre la surface de la Terre et l'espace.

6.5 Évanouissements dus à la scintillation troposphérique

La prévision des évanouissements dus à la scintillation troposphérique est calculée conformément à la Recommandation UIT-R P.618. Il est tenu compte de la scintillation troposphérique pour toutes les altitudes.

7 Applicabilité à des utilisations spécifiques des plates-formes aéroportées

Les méthodes de prévision décrites dans la présente Recommandation correspondent à la disponibilité moyenne à long terme pour une altitude et un angle d'élévation donnés. Elles peuvent aussi être utilisées pour prévoir la disponibilité moyenne des liaisons ou la disponibilité des liaisons dans le cas le plus défavorable pour n'importe quel profil applicable en termes d'altitude et d'angle d'élévation. La durée d'une dégradation (par exemple d'un affaiblissement dû à la pluie) dépendra des caractéristiques dynamiques de la plate-forme aéroportée.