

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R F.1333-1**  
(05/1999)

**ÉVALUATION DE L'ANGLE D'ÉLÉVATION  
EFFECTIF D'UNE STATION DU  
SERVICE FIXE VERS UNE STATION  
SPATIALE COMPTE TENU DE LA  
RÉFRACTION DANS L'ATMOSPHÈRE**

**Série F**  
**Service fixe**



## 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
<b>BO</b>	Diffusion par satellite
<b>BR</b>	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
<b>BS</b>	Service de radiodiffusion sonore
<b>BT</b>	Service de radiodiffusion télévisuelle
<b>F</b>	<b>Service fixe</b>
<b>M</b>	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
<b>P</b>	Propagation des ondes radioélectriques
<b>RA</b>	Radio astronomie
<b>RS</b>	Systèmes de télédétection
<b>S</b>	Service fixe par satellite
<b>SA</b>	Applications spatiales et météorologie
<b>SF</b>	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
<b>SM</b>	Gestion du spectre
<b>SNG</b>	Reportage d'actualités par satellite
<b>TF</b>	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
<b>V</b>	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, 2011

© UIT 2011

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 F.1333-1\*

**ÉVALUATION DE L'ANGLE D'ÉLÉVATION EFFECTIF D'UNE STATION  
DU SERVICE FIXE VERS UNE STATION SPATIALE COMPTE TENU  
DE LA RÉFRACTION DANS L'ATMOSPHÈRE**

(1997-1999)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit une méthode de calcul de l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale par rapport à une station du service fixe lorsque l'angle d'élévation en direction de la station spatiale n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide. Cette méthode a été mise au point sur la base de l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, dans certaines études de partage de fréquences entre le service fixe et des services de radiocommunication spatiale, et notamment le service fixe par satellite, le service de radiodiffusion par satellite et le service de recherche spatiale, il est nécessaire d'évaluer divers facteurs liés à la propagation comme l'affaiblissement sur les trajets obliques dû aux gaz de l'atmosphère et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel;
- b) que les affaiblissements susmentionnés sont fonction de l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire) par rapport à une station du service fixe;
- c) qu'il est nécessaire d'établir une méthode de calcul simplifiée permettant d'évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale, compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère, lorsque l'angle d'élévation de la station spatiale n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide;
- d) qu'il convient généralement d'évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale dans les conditions de l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835,

*recommande*

**1** d'appliquer la méthode d'évaluation de l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire) par rapport à une station du service fixe dans les conditions de l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835, méthode décrite à l'Annexe 1, lorsque l'angle d'élévation de la station spatiale n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide (Notes 1 et 2);

**2** lorsque le modèle du coïndice de réfraction dans l'atmosphère ne correspond pas à l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier définie dans la Recommandation UIT-R P.835, de déterminer une formule numérique différente applicable au modèle en question (Note 3).

---

\* La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en décembre 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

NOTE 1 – On peut, par exemple, appliquer les dispositions de la présente Recommandation pour évaluer l'affaiblissement sur les trajets obliques dû aux gaz de l'atmosphère et l'affaiblissement dû à l'occultation par zone de Fresnel, cette évaluation étant nécessaire pour l'application des dispositions de la Recommandation UIT-R F.1249.

NOTE 2 – L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R F.1108 donne un exemple de méthode permettant de calculer l'angle d'élévation d'une station spatiale non géostationnaire dans des conditions de propagation en espace libre et l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249 donne une méthode permettant de calculer l'angle d'élévation d'une station spatiale géostationnaire dans des conditions de propagation en espace libre.

NOTE 3 – L'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R SF.765 (et aussi l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1249) donne des exemples de formules numériques permettant de calculer les facteurs de correction due à la réfraction correspondant au modèle exponentiel  $N_0 = 400$  et  $\Delta N = -68$  (pour une correction dans les conditions de réfraction maximale) et au modèle exponentiel  $N_0 = 250$  et  $\Delta N = -30$  (pour une correction dans les conditions de réfraction minimale), où  $N_0$  est le coïndice de réfraction radioélectrique au niveau de la mer et  $\Delta N$  est le gradient (différence entre la valeur au niveau de la mer et la valeur à 1 km d'altitude), ces modèles étant utilisés pour déterminer l'angle de séparation entre l'axe du faisceau principal de l'antenne du service fixe et la direction de l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) (ou un point spécifique de l'OSG).

## ANNEXE 1

### **Comment évaluer l'angle d'élévation effectif d'une station spatiale lorsque l'angle d'élévation n'est connu que pour des conditions de propagation en espace libre**

#### **1 Introduction**

Dans certains cas rencontrés dans les études de partage, l'angle d'élévation d'une station spatiale (géostationnaire ou non géostationnaire), par rapport à une station du service fixe, n'est connu que dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide. En pareil cas, il est nécessaire d'évaluer l'angle d'élévation effectif, compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère. La méthode de calcul exposée dans la présente Annexe répond à ce besoin.

#### **2 Visibilité de la station spatiale**

Dans le cadre d'un modèle quasi exponentiel de l'atmosphère pour la réfraction, par exemple celui qui est considéré dans la Recommandation UIT-R P.835, le faisceau radioélectrique émis par une station du service fixe (à une altitude  $h$  (km) au-dessus du niveau de la mer et selon un angle d'élévation  $\theta$  (degrés)) est courbé vers la surface de la Terre en raison du phénomène de réfraction dans l'atmosphère. Le facteur de correction  $\tau$  (degrés) qui permet de tenir compte de cette réfraction est exprimé par l'intégrale suivante:

$$\tau = - \int_h^{\infty} \frac{n'(x)}{n(x) \cdot \operatorname{tg} \varphi} dx \quad (1)$$

dans laquelle  $\varphi$  est déterminé comme suit sur la base de la loi de Snell en coordonnées polaires:

$$\cos \varphi = \frac{c}{(r+x) \cdot n(x)} \quad (2)$$

$$c = (r+h) \cdot n(h) \cdot \cos \theta \quad (3)$$

où:

$r$ : rayon de la Terre (6 370 km).

La fonction  $n(x)$  exprime l'indice de réfraction de l'atmosphère en fonction de l'altitude  $x$  (km) et peut être calculée à l'aide de la formule définissant l'indice de réfraction radioélectrique (Recommandation UIT-R P.453) et sur la base de l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier (Recommandation UIT-R P.835.) Par ailleurs,  $n'(x)$  est la dérivée de  $n(x)$ .

Les valeurs de  $\tau(h, \theta)$  (degrés) ont été évaluées dans les conditions de l'atmosphère de référence moyenne annuelle pour le monde entier, et on a constaté que la formule numérique suivante donne une bonne approximation:

$$\tau(h, \theta) = 1 / [1,283 + 0,7491 \theta + 0,01986 \theta^2 + h(0,3114 + 0,07020 \theta)] \quad (4)$$

Cette formule est une approximation pour  $0 \leq h \leq 3$  km et  $\theta_m \leq \theta \leq 90^\circ$ ,  $\theta_m$  étant l'angle selon lequel le faisceau radioélectrique est juste intercepté par la surface de la Terre, angle qui s'exprime comme suit:

$$\theta_m = -\arccos \left( \frac{r}{r+h} \frac{n(0)}{n(h)} \right) \quad (5)$$

soit, approximativement,  $\theta_m = -0,875 \sqrt{h}$  degrés.

Considérons maintenant le cas d'une station spatiale présentant un angle d'élévation  $\theta_0$  (degrés) dans des conditions de propagation en espace libre. L'angle d'élévation minimal par rapport à une station du service fixe pour lequel le faisceau radioélectrique n'est pas intercepté par la surface de la Terre est  $\theta_m$ . Le facteur de correction de la réfraction correspondant à  $\theta_m$  est  $\tau(h, \theta_m)$ . Dans ce cas, la station spatiale n'est visible que lorsque l'inégalité suivante est vérifiée:

$$\theta_m - \tau(h, \theta_m) \leq \theta_0 \quad (6)$$

### 3 Evaluation de l'angle d'élévation effectif

Lorsque l'inégalité (6) est vérifiée, l'angle d'élévation effectif  $\theta$  (degrés), compte tenu de la réfraction dans l'atmosphère, s'obtient par résolution de l'équation suivante:

$$\theta - \tau(h, \theta) = \theta_0 \quad (7)$$

Par définition, la solution de l'équation (7) s'écrit comme suit:

$$\theta = \theta_0 + \tau_s(h, \theta_0) \quad (8)$$

dans laquelle les valeurs de  $\tau_s(h, \theta_0)$  sont identiques à celles de  $\tau(h, \theta)$ , mais exprimées en fonction de  $\theta_0$ .

On obtient une bonne approximation de la fonction  $\tau_s(h, \theta_0)$  (degrés) avec la formule numérique suivante:

$$\tau_s(h, \theta_0) = 1 / [1,712 + 0,5507 \theta_0 + 0,03424 \theta_0^2 + h(0,2584 + 0,07940 \theta_0 + 0,01034 \theta_0^2)] \quad (9)$$

Ainsi, la valeur de  $\theta$  donnée par l'équation (8) correspond à l'angle d'élévation effectif à utiliser pour l'évaluation de divers facteurs comme l'affaiblissement sur les trajets obliques et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel.

#### 4 Résumé des calculs

*Première étape:* Désigner par  $\theta_0$  l'angle d'élévation d'une station spatiale dans des conditions de propagation en espace libre dans le vide.

*Deuxième étape:* En utilisant les équations (4) et (5), déterminer si l'inégalité (6) est vérifiée ou non. Dans la négative, le satellite n'est pas visible, de sorte qu'aucun autre calcul n'est nécessaire.

*Troisième étape:* Si l'inégalité (6) est vérifiée, calculer  $\theta$  à l'aide des équations (8) et (9). La valeur obtenue est l'angle d'élévation effectif à utiliser pour l'évaluation de divers facteurs comme l'affaiblissement sur les trajets obliques et l'affaiblissement dû à l'occultation de la zone de Fresnel.

---