

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SF.1485
(05/2000)

Détermination de la zone de coordination de stations terriennes opérant avec des stations spatiales non géostationnaires du service fixe par satellite dans des bandes de fréquences utilisées en partage avec le service fixe

Série SF

Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du 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
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, 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 SF.1485*,**

DÉTERMINATION DE LA ZONE DE COORDINATION DE STATIONS TERRIENNES OPÉRANT AVEC DES STATIONS SPATIALES NON GÉOSTATIONNAIRES DU SERVICE FIXE PAR SATELLITE DANS DES BANDES DE FRÉQUENCES UTILISÉES EN PARTAGE AVEC LE SERVICE FIXE

(2000)

Domaine d'application

La présente Recommandation porte sur la détermination de la zone de coordination de stations terriennes opérant avec des satellites non géostationnaires du service fixe par satellite dans des bandes de fréquences utilisées en partage avec le service fixe. L'Annexe 1 décrit la procédure de détermination selon la méthode dite TVG (gain variable dans le temps) et donne des exemples de son application dans les Appendices de l'Annexe 1 (voir également la Recommandation UIT-R SM.1448, Annexe 1, § 2.2.2). L'Annexe 2 décrit la détermination de la zone de coordination selon la méthode dite composite.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la CMR-95 a alloué une portion du spectre aux services par satellite, à titre primaire, qui est utilisée par le service fixe;
- b) que les services par satellite peuvent fonctionner avec des stations spatiales sur des orbites non OSG;
- c) que des émissions provenant de stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales sur des orbites non OSG risquent de constituer une source de brouillage vers des récepteurs du service fixe et vice versa;
- d) que la Commission d'études 1 des radiocommunications regroupe les résultats des études entreprises par toutes les Commissions d'études concernées en vue d'élaborer un texte susceptible d'être utilisé pour réviser l'Appendice S7 du RR;
- e) qu'il est possible de définir une zone autour d'une station terrienne non OSG en dehors de laquelle une station du service fixe ne provoquerait ou ne subirait qu'un brouillage négligeable;
- f) que le pointage de l'antenne d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale sur une orbite non OSG varie en fonction du temps et selon les paramètres des orbites du satellite non OSG opérationnel et selon l'emplacement de la station terrienne;
- g) que des procédures, similaires à celles actuellement en cours, devraient être établies en vue de la détermination d'une zone de coordination autour de stations terriennes fonctionnant sur des orbites non OSG,

recommande

- 1 que la détermination de la zone de coordination autour d'une station terrienne du système par satellite non OSG prenne en compte le pourcentage de temps pendant lequel la station terrienne pointe dans la direction examinée;
- 2 que, pour le calcul de l'affaiblissement de transmission de base, $L_b(p)$, le pourcentage du temps, p , pendant lequel la puissance du brouillage vers le récepteur de la station du service fixe est autorisé à dépasser le niveau maximal admissible, $P_r(p)$, est modifié en fonction du pourcentage de temps pendant lequel l'antenne de la station terrienne non OSG pointe dans la direction examinée;
- 3 que la détermination de la zone de coordination prenne en compte les paramètres des orbites des stations spatiales orientées vers la station terrienne non OSG;
- 4 que les méthodes présentées à l'Annexe 1 ou à l'Annexe 2 soient prises en compte par les administrations pour déterminer la zone de coordination (voir la Note 1).

NOTE 1 – Les équations d'orbite de la procédure présentée à l'Annexe 1 ne s'appliquent qu'à des orbites circulaires.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 1 et 3 des radiocommunications.

** 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.

ANNEXE 1

Détermination de la zone de coordination de stations terriennes opérant avec des stations spatiales non OSG du service fixe par satellite dans des bandes de fréquences utilisées en partage avec le service fixe

1 Introduction

La présente procédure a été établie pour déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG dans des bandes de fréquences utilisées en partage avec des services de radiocommunication de Terre.

Le fonctionnement des stations terriennes et des stations de Terre non OSG dans des bandes partagées peut donner lieu à des brouillages entre les stations des deux services. L'importance de ces brouillages dépend de l'affaiblissement de transmission le long du trajet de brouillage, lequel dépend à son tour de facteurs tels que la longueur et la géométrie d'ensemble du trajet de brouillage, l'angle d'élévation de fonctionnement minimale, la distribution de gain d'antenne en fonction du temps, les conditions radioclimatiques et le pourcentage de temps pendant lequel l'affaiblissement de transmission doit être dépassé.

La procédure décrite ci-après permet de déterminer, dans tous les azimuts autour d'une station terrienne d'émission ou de réception, une distance au-delà de laquelle on pense que l'affaiblissement de transmission dépassera un niveau donné admissible pendant tout le temps sauf pendant un pourcentage admissible donné du temps. Cette distance ainsi déterminée est appelée distance de coordination. Les extrémités des vecteurs qui la représentent dans tous les azimuts définissent, autour de la station terrienne, un contour de coordination qui circonscrit la zone de coordination. On considère que les stations de Terre situées à l'extérieur de la zone de coordination ne devraient provoquer ou subir qu'un brouillage négligeable.

Bien qu'elle soit fondée sur des données techniques, la notion de distance de coordination est de nature administrative. Comme on détermine la zone de coordination avant d'examiner en détail des cas précis de brouillage possible, on est obligé de fonder cette détermination sur des valeurs supposées des paramètres des systèmes de Terre, tandis que les paramètres pertinents des stations terriennes sont connus.

On ne tient pas compte pour la détermination de la zone de coordination de toute station située en dehors de la zone de coordination d'une station prévue donnée. En conséquence, les besoins de coordination d'une station peuvent être strictement domestiques, si la zone de coordination de la station prévue se situe entièrement sur le territoire de l'administration notificatrice, ou domestiques et internationaux, si la zone de coordination comprend également le territoire d'une autre administration, auquel cas il est nécessaire d'obtenir l'accord de coordination de cette administration.

Il convient d'examiner initialement au cas par cas les stations situées dans la zone de coordination d'une station prévue, en prenant en compte, le cas échéant, la discrimination d'antenne, la distance de séparation et le profil du trajet.

Pour déterminer la zone de coordination, on peut envisager deux cas:

- a) la station terrienne non OSG fonctionne à l'émission et risque dès lors de brouiller les réceptions de stations de Terre,
- b) la station terrienne non OSG fonctionne à la réception et risque dès lors d'être brouillée par les émissions de stations de Terre.

Bien que la présente Annexe décrive le Cas a) dans lequel la station terrienne non OSG fonctionne à l'émission et la station de Terre à la réception, les méthodologies présentées sont également applicables au Cas b) dans lequel la station de Terre fonctionne à l'émission et la station terrienne non OSG à la réception.

2 Considérations générales

2.1 Notion d'affaiblissement de transmission minimal admissible

La détermination de la distance de coordination – distance à partir d'une station terrienne non OSG au-delà de laquelle on peut considérer comme négligeable le brouillage causé ou subi par une station de Terre – repose sur le postulat que l'affaiblissement du signal brouilleur augmente régulièrement en fonction de la distance.

La valeur de l'affaiblissement requis entre un émetteur brouilleur et un récepteur brouillé est donnée par l'affaiblissement de transmission minimal admissible pendant $p\%$ du temps (valeur que l'affaiblissement de transmission réel ou prévu doit dépasser pendant $(100 - p)\%$ du temps). (Lorsque p est un faible pourcentage de temps, compris entre 0,001% et 1,0%, le brouillage est dit à court terme; lorsque $p \geq 20\%$, le brouillage est dit à long terme):

$$L(p) = P_t - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

- P_t : niveau de puissance d'émission maximale (dBW) disponible dans la largeur de bande de référence à l'entrée de l'antenne d'une station brouilleuse
- $P_r(p)$: niveau de brouillage d'une émission brouilleuse (dBW) dans la largeur de bande de référence qui ne doit pas être dépassé pendant plus de $p\%$ du temps à la sortie de l'antenne de réception d'une station brouillée, lorsque l'émission brouilleuse a pour origine une source unique.

P_t et $P_r(p)$ sont définis pour la même largeur de bande radioélectrique (largeur de bande de référence) et $L(p)$ et $P_r(p)$ sont définis pour le même pourcentage de temps, imposé par les critères de qualité du système brouillé.

Seuls de faibles pourcentages de temps présentent de l'intérêt dans cette question. Si l'on prend en considération un mécanisme précis de propagation de l'émission brouilleuse, on peut déterminer la distance de coordination. L'UIT-R élabore actuellement des modèles de propagation adaptés à la détermination de la zone de coordination de station terrienne opérant sur des réseaux à satellites non OSG.

2.2 Notion d'affaiblissement de propagation minimal admissible

L'affaiblissement de transmission est défini sous forme de paramètres séparables, à savoir un affaiblissement de propagation (c'est-à-dire un affaiblissement entre antennes isotropes) et les gains effectifs des antennes aux deux extrémités du trajet de brouillage. L'affaiblissement de propagation minimal admissible peut s'exprimer par:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

- $L_b(p)$: affaiblissement de propagation minimal admissible (dB) pendant $p\%$ du temps, valeur que l'affaiblissement de propagation réel ou prévu doit dépasser pendant $(100 - p)\%$ du temps
- G_t : gain de l'antenne d'émission de la station brouilleuse (dBi). Si la station brouilleuse est une station terrienne non OSG, il s'agit du gain de l'antenne variable dans le temps vers l'horizon physique dans un azimut donné; dans le cas d'une station de Terre, on utilisera le gain maximal prévu de l'antenne
- G_r : gain de l'antenne de réception de la station brouillée (dBi). Si la station brouillée est une station terrienne non OSG, il s'agit du gain variable dans le temps vers l'horizon physique dans un azimut donné; dans le cas d'une station de Terre, on utilisera le gain maximal prévu de l'antenne.

2.3 Détermination des paramètres de brouillage

2.3.1 Détermination du niveau admissible $P_r(p)$ de l'émission brouilleuse

Le niveau admissible à la réception de l'émission brouilleuse (dBW) dans la largeur de bande de référence, qui ne doit pas être dépassé pendant plus de $p\%$ du temps aux bornes de l'antenne de réception d'une station brouillée sous l'effet de chaque source de brouillage, est donné par la relation générale:

$$P_r(p) = 10 \log(k T_e B) + N_L + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - W \quad \text{dBW} \quad (3)$$

où:

- k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- T_e : température de bruit thermique du système de réception (K), aux bornes de l'antenne de réception (voir la Note 1)
- B : largeur de bande de référence (Hz), c'est-à-dire largeur de bande intéressant le système brouillé, dans laquelle on peut déterminer la valeur moyenne de la puissance de l'émission brouilleuse
- N_L : apport de bruit à la liaison (voir la Note 2)

- p : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant d'une source peut dépasser la valeur admissible, du fait de la non-simultanéité des cas de brouillage: $p = p_0/n$
- p_0 : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant de toutes les sources peut dépasser la valeur seuil
- n : nombre de cas de brouillage équiprobables, de niveau égal équivalent supposés non corrélés pendant de faibles pourcentages du temps
- M_s : marge de performance de la liaison (dB)
- W : facteur d'équivalence (dB) permettant d'établir une relation entre le brouillage provenant d'émissions brouilleuses et le brouillage provoqué par l'introduction d'un bruit thermique supplémentaire de même puissance dans la largeur de bande de référence (voir la Note 3).

NOTE 1 – La température de bruit (K) du système de réception, aux bornes de sortie de l'antenne de réception, peut être déterminée d'après la formule:

$$T_e = T_a + (e - 1) 290 + eT_r \quad \text{K} \quad (4)$$

où:

- T_a : température de bruit (K) produite par l'antenne de réception
- e : valeur numérique de l'affaiblissement sur la ligne de transmission (par exemple un guide d'ondes) entre les bornes de l'antenne et l'étage d'entrée du récepteur
- T_r : température de bruit (K), y compris la contribution des étages successifs, rapportée aux bornes d'entrée du récepteur.

Pour les récepteurs de faisceaux hertziens et lorsque l'affaiblissement du guide d'onde d'une station terrienne de réception n'est pas connu, on posera $e = 1,0$.

NOTE 2 – Le facteur N_L est l'apport de bruit à la liaison. Dans le cas d'un répéteur de satellite, il comprend le bruit sur la liaison montante, le bruit d'intermodulation, etc. En l'absence de données de brouillages spécifiques, on a généralement:

$$N_L = 1 \text{ dB} \quad \text{pour les liaisons du SFS}$$

$$N_L = 0 \text{ dB} \quad \text{pour les liaisons de Terre}$$

NOTE 3 – Le facteur W (dB) est le rapport de la puissance de bruit thermique radioélectrique à la puissance reçue d'une émission brouilleuse qui, à la place de la première et contenue dans la même largeur de bande (de référence), donnerait lieu au même brouillage (par exemple une augmentation de la puissance de bruit dans la voie téléphonique ou dans le canal vidéo, ou à une augmentation du TEB). Le facteur W dépend généralement des caractéristiques du signal utile et de celles du signal brouilleur. Il est positif lorsque les émissions brouilleuses risquent de provoquer plus de dégradation que de bruit thermique. Lorsque le signal utile est numérique, W est généralement inférieur ou égal à 0 dB, quelles que soient les caractéristiques du signal brouilleur.

3 Détermination du gain d'antenne de la station terrienne du système par satellite non OSG

Pour une station terrienne opérant vers un satellite non OSG, le gain d'antenne varie en fonction du temps. Les statistiques de gain d'antenne en direction de l'horizon d'une station terrienne non OSG peuvent être fournies par les administrations ou dérivées de simulations informatiques.

Voici une méthodologie de calcul de gain de nature variable dans le temps de l'antenne d'une station terrienne non OSG à l'aide de simulations informatiques:

- Simuler la constellation de satellites non OSG sur une période suffisamment longue (par exemple un cycle de répétition de la constellation) avec un pas temporel approprié à l'altitude de l'orbite de façon à obtenir une représentation valide des variations de gain d'antenne.
- Pour chaque pas temporel, enregistrer l'azimut de la station terrienne et les angles d'élévation de tous les satellites qui sont visibles de la station terrienne et se situent au-dessus de l'angle d'élévation de fonctionnement minimal. D'autres critères complémentaires à l'angle d'élévation peuvent être utilisés pour éviter certaines configurations géométriques, en particulier l'évitement de l'arc en orbite géostationnaire.

- Utiliser le diagramme de rayonnement réel de la station terrienne ou une formule en donnant une bonne approximation pour calculer le gain en direction de l'horizon pour chaque azimut autour de la station terrienne.
- Pour chaque azimut sur l'horizon autour de la station terrienne, calculer le pourcentage de temps pendant lequel chaque valeur de gain est produite. La fonction de densité de probabilité du gain d'antenne en direction de l'horizon varie dans l'intervalle G_{min} à G_{max} . Il est recommandé d'utiliser des échelons de progression de s (dB) entre G_{min} et G_{max} , c'est-à-dire que: $G = \{G_{min}, G_{min} + s, G_{min} + 2s, \dots, G_{max}\}$.
- Dériver la fonction de distribution cumulative en y intégrant la fonction de densité de gain; cette fonction de distribution cumulative produit le pourcentage de temps pendant lequel le gain est inférieur ou égal à une valeur donnée.

3.1 Détermination de la forme géométrique d'une antenne

Les équations ci-après sont utilisées dans l'approche algorithmique présentée ci-dessus pour décrire la forme géométrique de l'axe de visée de l'antenne de la station terrienne non OSG en fonction du temps.

Etant donné une Terre sphérique et une orbite circulaire, l'angle d'élévation, (χ_t) , vers un satellite non OSG vu de la station terrienne non OSG est donné par la formule:

$$\sin(\chi_t) = \frac{r_s \cos(\beta) - r_g}{\sqrt{(r_s^2 + r_g^2 - 2r_s r_g \cos(\beta))}} \quad (5)$$

où:

$$\begin{aligned} \cos(\beta) = \cos(\zeta_g) & \left[\cos(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(\omega + f) + \sin(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(i) \sin(\omega + f) \right] \\ & + \sin(\zeta_g) \sin(i) \sin(\omega + f) \end{aligned} \quad (5a)$$

$$\dot{\theta} = \omega_e - \dot{\Omega}$$

ω_e : vitesse de rotation de la Terre = 0,004178 (degrés/s)

$\dot{\Omega}$: vitesse de précession des nœuds du satellite non OSG (degrés/s)

β : angle entre les vecteurs du centre de la Terre au satellite non OSG et du centre de la terre à la station terrienne non OSG (degrés)

r_s : distance entre le centre de la Terre et le satellite non OSG (km)

r_g : distance entre le centre de la terre et la station terrienne non OSG (km)

λ_s : longitude du nœud ascendant de l'orbite du satellite non OSG à l'instant $t = 0$ (degrés)

i : inclinaison de l'orbite du satellite non OSG (degrés)

ω : argument du périégée de l'orbite du satellite non OSG à l'instant t (degrés)

f : anomalie vraie du satellite non OSG sur son orbite à l'instant t (degrés)

λ_g, ζ_g : longitude et latitude de la station terrienne non OSG (degrés)

t : temps (s).

Le vecteur du satellite à partir du centre de la Terre en fonction du temps est donné par:

$$\bar{r}_s = r_s \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = r_s \begin{bmatrix} \sin(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i) \sin(\omega + f) + \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i) \sin(\omega + f) - \sin(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \sin(i_s) \sin(\omega + f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Les longitude, λ_t , et latitude, ζ_t , subsatellites en fonction du temps sont:

$$\lambda_t = \text{tg}^{-1} (y/x) \quad \zeta_t = \text{sin}^{-1} (z) \quad (7)$$

L'azimut α_t , auquel le satellite est vu de la station terrienne non OSG est:

$$\alpha_t = \text{tg}^{-1} \left\{ \frac{\cos(\zeta_t) \sin(\Delta\lambda)}{\sin(\zeta_g) \cos(\zeta_t) \cos(\Delta\lambda) - \cos(\zeta_g) \sin(\zeta_t)} \right\} \quad (8)$$

où:

$$\Delta\lambda = \lambda_g - \lambda_t \quad (9)$$

L'angle $\varphi(\alpha_t)$ entre l'axe de visée de l'antenne et la direction de l'horizon correspondant à un azimut pertinent, α_t , exprimé sous la forme d'un rapport entre l'azimut de l'axe de visée et les angles d'élévation (α_t, χ_t) et l'azimut et les angles d'élévation (α_0, χ_0) dans la direction considérée est donné par:

$$\varphi(\alpha_t) = \cos^{-1} \{ \cos(\alpha_t - \alpha_0) \cos(\chi_t) \cos(\chi_0) + \sin(\chi_t) \sin(\chi_0) \} \quad (10)$$

si $\chi_0 = 0^\circ$:

$$\varphi(\alpha_t) = \cos^{-1} \{ \cos(\alpha_t - \alpha_0) \cos(\chi_t) \} \quad (11)$$

La composante gain d'antenne en direction de l'horizon peut être dérivée en utilisant le diagramme de rayonnement réel de la station terrienne ou à l'aide d'une formule en donnant une bonne approximation. L'Annexe 1 présente des exemples de calcul du gain d'antenne en direction de l'horizon pour une station terrienne non OSG.

4 Détermination de la distance de coordination

La distance de coordination d'un modèle de propagation donné est la distance d (km) qui va produire une valeur d'affaiblissement de transmission de référence égale à l'affaiblissement de transmission minimal admissible tel que défini au § 2.2.

Dans les cas où la station terrienne est la station inconnue, on peut appliquer la méthodologie ci-après pour déterminer la zone de coordination. Pour appliquer cette méthodologie, il est nécessaire de disposer des données statistiques de gain d'antenne en direction de l'horizon de nature variable dans le temps de la station terrienne non OSG. Il n'est en revanche pas nécessaire de disposer d'une dérivation de la fonction de distribution de l'affaiblissement de transmission.

La réponse à l'équation (2) relative à l'affaiblissement de transmission minimal admissible donnée ci-dessous s'appuie sur le cas d'une station terrienne d'émission opérant vers une station spatiale non OSG. Une procédure similaire peut être adoptée pour une station terrienne non OSG de réception pour laquelle le gain d'antenne, G_r , varie en fonction du temps.

L'équation relative à l'affaiblissement de transmission de référence peut dès lors être reformulée comme suit:

$$L_b(p') - G_t(p_i) = P_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (12)$$

où:

$P_t, P_r(p)$ et G_r sont tels que définis dans les équations (1) et (2) où p est le pourcentage de temps pendant lequel le niveau de brouillage est autorisé à dépasser le seuil de brouillage $P_r(p)$

p_i et p' sont définis par les probabilités suivantes:

$$p(G_t \geq G_{ti}) = p_i$$

$$p(L_b \leq L_{bi}) = p'$$

$G_t(p_i)$ est le gain de l'antenne d'émission de nature variable en fonction du temps (dBi) en direction de l'horizon physique dans un azimut donné de la station terrienne brouilleuse opérant vers une station spatiale non OSG.

En faisant l'hypothèse que l'affaiblissement le long du trajet, L_b , et le gain d'antenne, G_t , sont des variables indépendantes, le pourcentage total du temps, p , pendant lequel $\{L_b - G_t\}$ est autorisé à être inférieur ou égal à $\{P_t + G_r - P_r(p)\}$ est égal au produit de p' et p_i :

$$p(L_b - G_t \leq L_{bi} - G_{ti}) = p'p_i$$

Pour chaque paire de valeurs p' et p_i qui vérifie la relation $p = p' p_i$, il existe une famille de valeurs L_b et G_t qui vérifie l'équation (12). En appliquant la fonction de distribution cumulative du gain d'antenne, G_t , pour chaque azimut, une valeur G_{ti} est sélectionnée telle que G_t dépasse G_{ti} pendant seulement $p_i\%$ du temps. Pour chaque échelon de ce type, les valeurs de G_{ti} et p_i sont fixes. L'équation (12) peut alors être réécrite comme suit:

$$L_{bi}(p') = P_t + G_{ti}(p_i) + G_r - P_r(p) \quad \text{dB}$$

Les calculs de $L_{bi}(p')$ sont répétés pour tous les niveaux de gain G_{ti} conformément aux étapes de mise en œuvre décrites ci-dessous. Parmi les valeurs de $L_{bi}(p')$, celle correspondant à la distance maximale est retenue comme distance de coordination pour l'azimut considéré.

La distance de coordination est déterminée à l'aide de la procédure décrite ci-dessous:

Etape 1: calculer la fonction de distribution cumulative du gain d'antenne en direction de l'horizon de la station terrienne pour un azimut donné conformément aux directives données au § 3. Cette fonction peut également être fournie par les administrations.

Etape 2: à partir de la fonction de distribution cumulative du gain d'antenne en direction de l'horizon, déterminer la valeur de gain minimale, $G_{t_{min}}$ et la valeur de gain maximale, $G_{t_{max}}$. Choisir un échelon de gain de s (dB) et diviser cet intervalle de gain en un certain nombre de niveaux de gain $\{G_{t_{min}}, G_{t_{min}} + s, G_{t_{min}} + 2s, \dots, G_{t_{max}}\}$. Une valeur de $s = 0,1$ à $0,5$ dB est recommandée.

Etape 3: déterminer le pourcentage de temps, p_i , associé au $i^{\text{ème}}$ niveau de gain G_{ti} . Ce p_i représente le pourcentage de temps pendant lequel le gain d'antenne en direction de l'horizon est supérieur ou égal à G_{ti} .

Etape 4: déterminer le pourcentage de temps, p' , de l'affaiblissement minimal requis associé à chaque p_i :

$$\begin{aligned} p' &= p/p_i & \text{si} & \quad p/p_i \leq Z\% \\ p' &= Z\% & \text{si} & \quad p/p_i > Z\% \end{aligned}$$

pendant lequel la valeur recommandée pour Z est $Z = 20\%$, et p' est défini dans la plage $0 \leq p' \leq 100\%$. Si p' est supérieur à 100% , il doit être ignoré.

Etape 5: calculer l'affaiblissement minimal requis pour l'émission brouilleuse:

$$L_{bi}(p') = P_t + G_{ti}(p_i) + G_r - P_r(p) \quad \text{dB}$$

Etape 6: déterminer la distance, d_i (km), entre la station brouilleuse et la station brouillée en utilisant un modèle de propagation approprié comme par exemple l'un des modèles proposés dans la Recommandation UIT-R P.620.

Etape 7: répéter les Etapes 3 à 6 pour chaque niveau de gain G_{ti} dans la plage $G_{t_{min}}$ à $G_{t_{max}}$. Dans les valeurs de distance d_i (km) calculées à l'Etape 6, retenir celle correspondant à la distance maximale comme distance de coordination pour l'azimut considéré.

Etape 8: s'assurer que d_i (km) se situe entre les limites de distance de coordination minimale, d_{min} et maximale, d_{max} :

$$\begin{aligned} \text{si } d_i \text{ (km)} < d_{min} & \quad \text{définir} & \quad d_i \text{ (km)} = d_{min} \\ \text{si } d_i \text{ (km)} > d_{max} & \quad \text{définir} & \quad d_i \text{ (km)} = d_{max} \end{aligned}$$

où d_{min} et d_{max} sont tels que définis dans la Recommandation UIT-R P.620.

Etape 9: répéter les Etapes 1 à 8 pour chaque azimut autour de la station terrienne. Dans la pratique, il suffit généralement d'effectuer cette répétition par échelons de 5° .

L'Appendice 2 de l'Annexe 1 présente des exemples de contours de coordination calculés à l'aide de cette méthodologie.

APPENDICE 1

DE L'ANNEXE 1

Exemples de distribution de gain d'antenne**1 Généralités**

Le présent Appendice présente des exemples de détermination des statistiques de gain d'une antenne d'émission d'une station terrienne opérant vers des satellites non OSG. Tous les exemples présentés ici s'appuient sur la formule suivante donnant le diagramme de rayonnement d'antenne de la station terrienne:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log(D/\lambda) & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log(\varphi) & \text{pour } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{pour } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases}$$

où:

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - 2 - 15 \log(D/\lambda)} \quad \text{degrés}$$

$$\varphi_r = 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{degrés}$$

D : diamètre de l'antenne

λ : longueur d'onde exprimée dans la même unité que D

G_{max} : gain d'antenne maximal (dBi)

φ : angle par rapport à l'axe de visée (degrés).

Ce diagramme d'antenne est illustré à la Fig. 1 pour $D/\lambda = 120$ et $G_{max} = 49$ dBi (rendement d'environ 55%). Ce diagramme présente une ouverture de faisceau d'environ $0,5^\circ$.

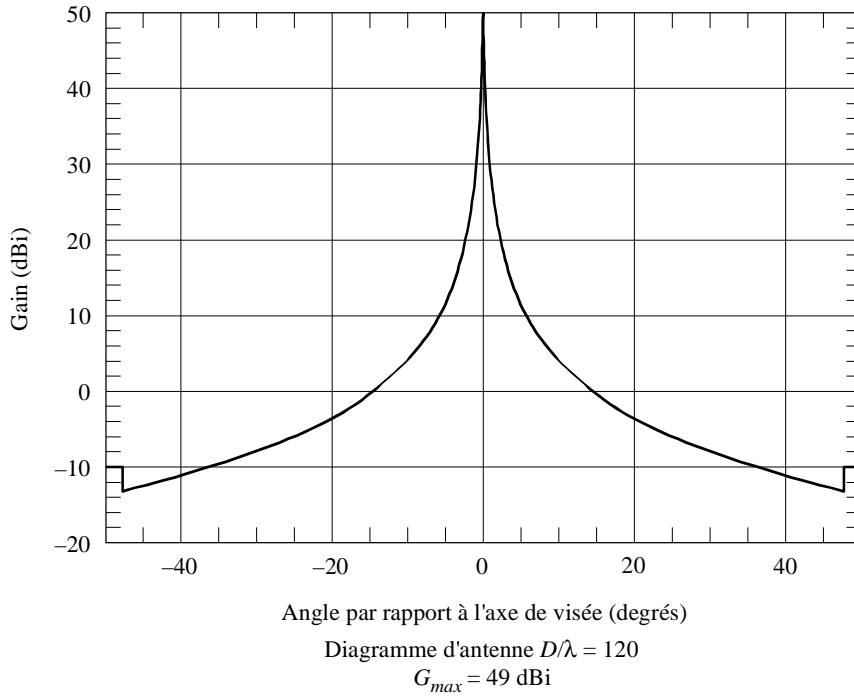
Les exemples présentés dans cet Appendice concernent une orbite circulaire et considèrent une Terre sphérique pour le calcul de l'azimut de l'axe de visée et des angles d'élévation de la station terrienne.

Exemple 1: Cet exemple considère une station terrienne à ($22,5^\circ$ N, 0° E) opérant vers un satellite non OSG sur une orbite circulaire avec un demi-grand axe de 8 000 km et une inclinaison, i , de $98,2^\circ$.

La Fig. 2 représente des courbes typiques de distribution de dépassement de gain à des résolutions de $0,1^\circ$ et $0,5^\circ$ d'angles d'azimut et d'élévation. Ces deux courbes sont produites pour un azimut de 240° . Comme indiqué, la courbe de $0,5^\circ$ est très bruitée pour des pourcentages de temps faibles et dès lors un échelon de $0,5^\circ$ représente une variation significative en termes de gain en particulier à proximité du faisceau principal. Une résolution plus faible produit une courbe plus régulière, comme celle générée avec une résolution de $0,1^\circ$ d'angles d'azimut et d'élévation.

FIGURE 1

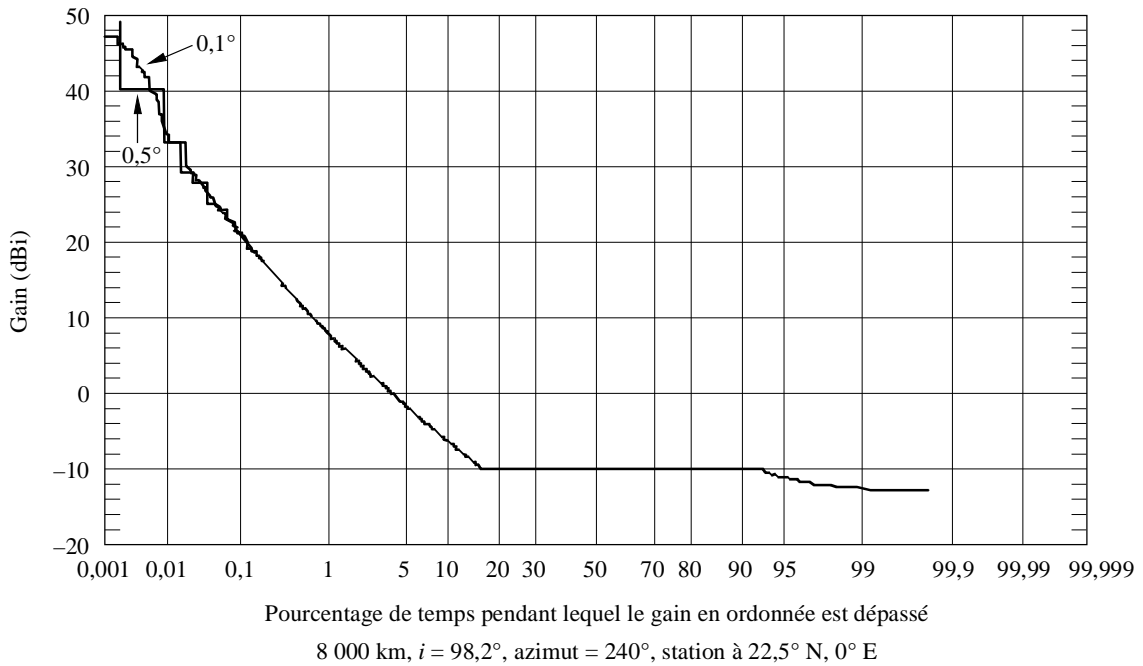
Diagramme d'antenne utilisé dans les exemples



1485-01

FIGURE 2

Distribution typique de dépassement de gain en direction de l'horizon avec des résolutions de $0,1^\circ$ et $0,5^\circ$ en angles d'élévation et d'azimut

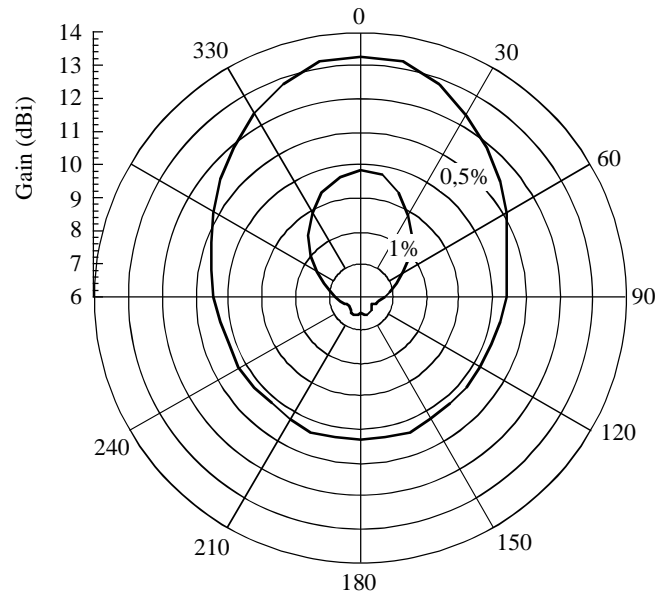


1485-02

La Fig. 3 représente le gain qui est dépassé pendant 0,5 et 1% du temps en fonction de l'angle d'azimut. Ces résultats ont été produits avec une résolution de taille de pas de $0,5^\circ$ en angles d'azimut et d'élévation.

FIGURE 3

Contours de gain de l'exemple 1 pour 0,5% et 1% du temps

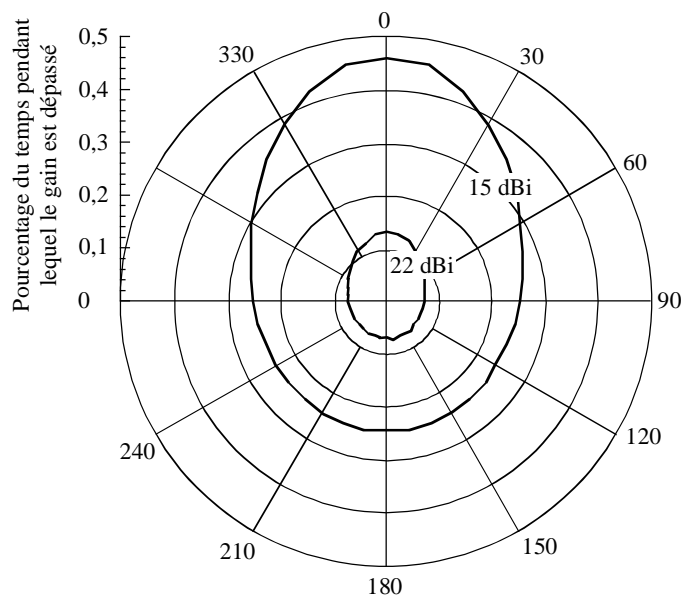


1485-03

Dans la Fig. 4, le gain est fixe et le pourcentage de temps pendant lequel ce gain est dépassé est représenté en fonction de l'azimut. Les contours sont représentés pour des gains de 15 et 22 dBi produits avec une résolution de taille de pas de $0,5^\circ$.

FIGURE 4

Contours donnant le pourcentage de temps pendant lequel un gain donné est dépassé à chaque angle d'azimut



1485-04

Exemple 2: Cet exemple porte sur la même station terrienne non OSG et le même satellite que ceux décrits dans l'Exemple 1 mais, dans le cas présent, l'orbite du satellite présente une inclinaison, i , de 45° .

La Fig. 5 représente les distributions associées de dépassement de gain pour des angles d'azimut de 0° et 140° . La différence pour un pourcentage du temps proche de 1% est significative en termes de gain. La Fig. 6 représente le gain qui est dépassé pendant 0,5% et 1% du temps en fonction de l'angle d'azimut. L'inflexion marquée pour l'azimut 0° résulte du fait que le satellite n'est jamais visible dans cette direction. Ces résultats ont été produits avec une résolution de taille de pas de $0,1^\circ$ en angles d'élévation et d'azimut.

FIGURE 5
**Distributions du dépassement de gain pour deux angles d'azimut (0° et 140°)
 pour une inclinaison de 45°**

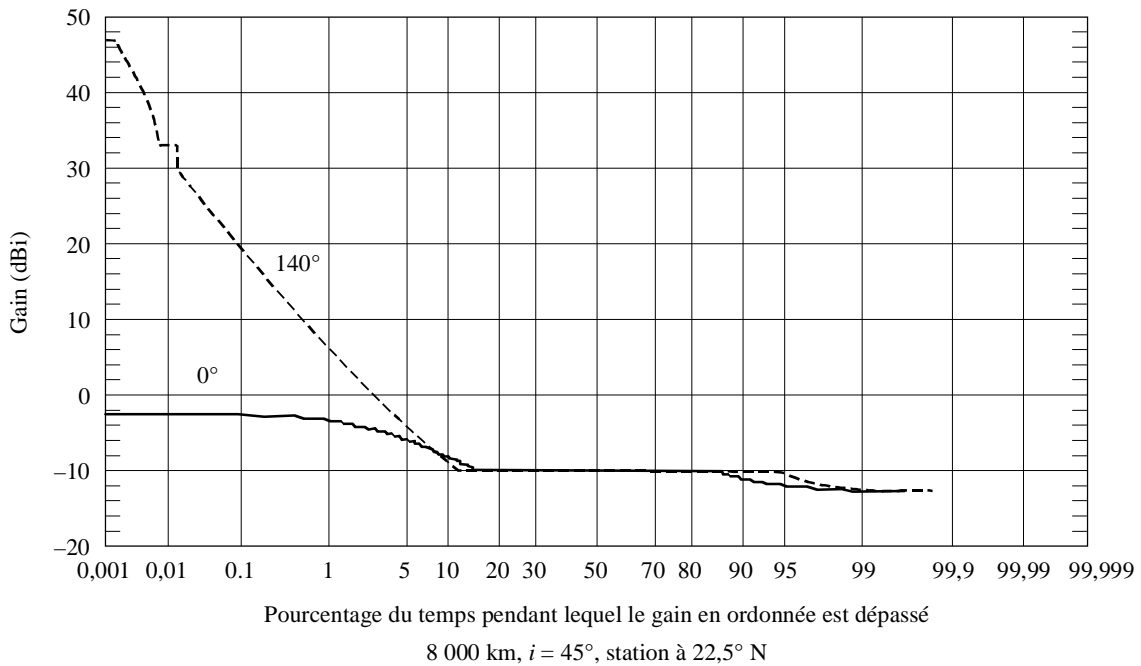
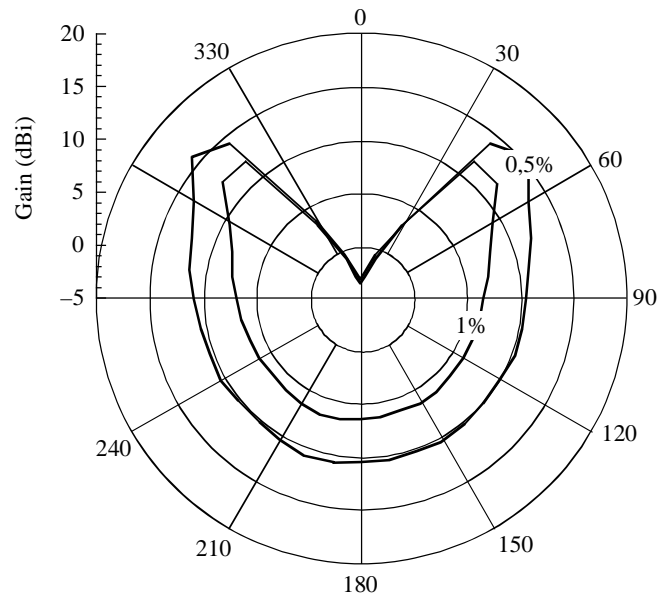


FIGURE 6

Contours de gain de l'Exemple 2 pour une inclinaison de 45°



1485-06

APPENDICE 2

DE L'ANNEXE 1

**Distances de coordination de stations terriennes non OSG
du point de vue de stations de Terre**

1 Généralités

Le présent Appendice contient des exemples de détermination de la zone de coordination autour de stations terriennes non OSG du point de vue de stations de Terre dans la bande de fréquences de 6 700 à 7 075 MHz.

2 Paramètres système

Les paramètres système des stations terriennes non OSG et des stations de Terre sont indiqués respectivement au Tableau 1 pour une station terrienne d'émission non OSG et une station de Terre de réception et au Tableau 2 pour une station terrienne de réception non OSG et une station de Terre d'émission.

TABLEAU 1

**Paramètres système pour la coordination d'une station terrienne d'émission non OSG
avec une station de Terre de réception**

<i>Paramètres d'orbite des satellites non OSG:</i>	
Altitude (km)	1 414
Nombre de satellites	48
Angle d'inclinaison (degrés)	52
<i>Type de station terrienne non OSG:</i>	
Latitude (degrés)	50
Longitude (degrés)	0
Angle d'élévation minimal d'exploitation (degrés)	10
Diagramme de gain d'antenne	Recommandation UIT-R S.465
<i>Station terrienne d'émission non OSG:</i>	
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	50
p.i.r.e./porteuse (dBW)	56,5
Largeur de bande de transmission (kHz)	1 230
<i>Station de réception de Terre:</i>	
Modulation	Numérique
Pourcentage du temps, $p\%$	0,002
Gain de l'antenne de réception (dBi)	47
Largeur de la bande de référence (MHz)	1
$P_r(p)$ (dBW)	-103,0

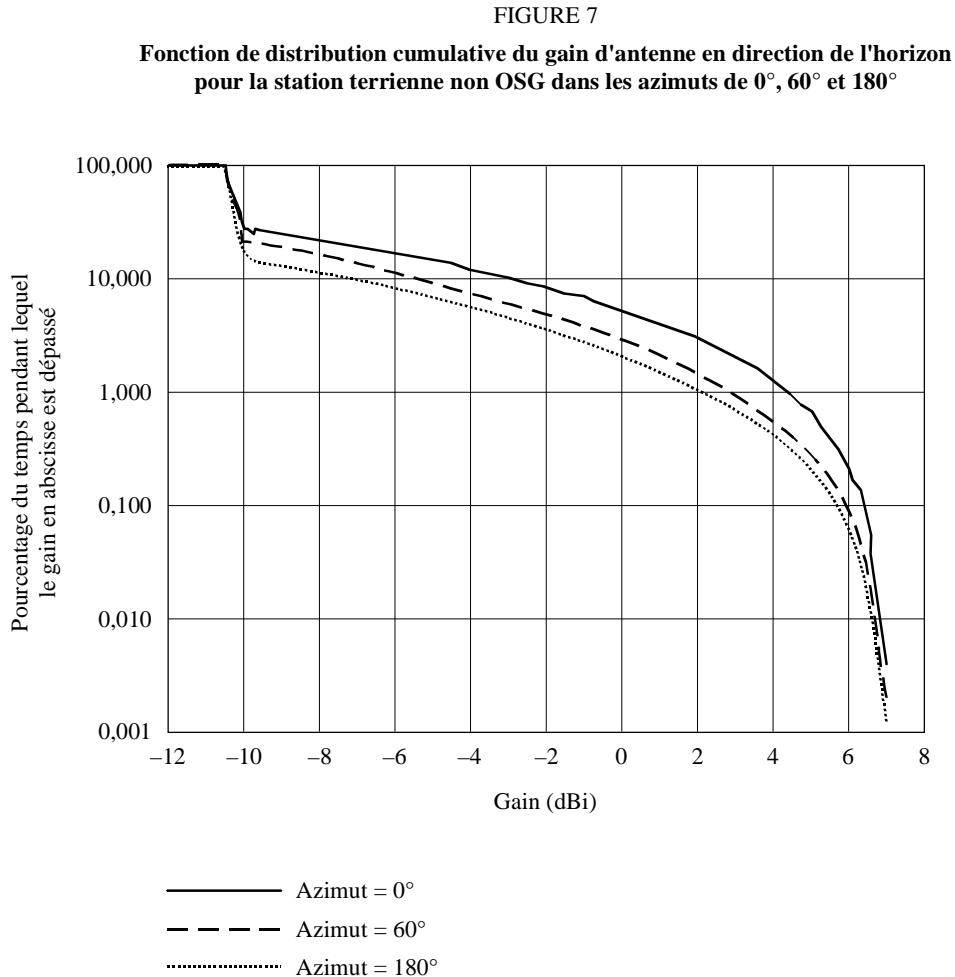
TABLEAU 2

**Paramètres système pour la coordination d'une station terrienne de réception non OSG
avec une station de Terre d'émission**

<i>Paramètres d'orbite des satellites non OSG:</i>	
Altitude (km)	1 414
Nombre de satellites	48
Angle d'inclinaison (degrés)	52
<i>Type de station terrienne non OSG:</i>	
Latitude (degrés)	50
Longitude (degrés)	0
Angle d'élévation minimal d'exploitation (degrés)	10
Diagramme de gain d'antenne	Recommandation UIT-R S.465
<i>Station terrienne de réception non OSG:</i>	
Modulation	Numérique
Pourcentage du temps, $p\%$	0,002
M_s (dB)	2
N_L (dB)	1
W (dB)	0
Gain de l'antenne de réception (dBi)	50
Largeur de la bande de référence (MHz)	1
T_e (K)	127,7
$P_r(p)$ (dBW)	-149,0
<i>Station de Terre d'émission:</i>	
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	42
p.i.r.e./porteuse (dBW)	3

3 Distance de coordination

La Fig. 7 illustre des exemples de fonction de distribution cumulative du gain d'antenne en direction de l'horizon pour la station terrienne d'émission non OSG décrite au Tableau 1.



1485-07

Les Tableaux 3 et 4 représentent des exemples de détermination de la distance de coordination entre la station terrienne d'émission non OSG et le station de Terre de réception décrite au Tableau 1. Les distances estimées sont données pour un incrément d'échelon de 0,5 dB sur l'intervalle de gain d'antenne en direction de l'horizon et pour un angle d'élévation au-dessus de l'horizon de 0°. Ces distances sont calculées à l'aide de la méthode décrite au § 4 et des modèles de propagation de la Recommandation UIT-R P.620. La valeur la plus élevée (indiquée en gras) dans la colonne d (km) de ces tableaux est retenue comme distance de coordination pour l'azimut considéré.

Le Tableau 5 présente une liste des distances de coordination des stations terriennes d'émission/réception non OSG et des stations de Terre d'émission/réception répertoriées aux Tableaux 1 et 2. Ces distances de coordination sont tracées sur la Fig. 8.

TABLEAU 3

**Détermination de la distance de coordination pour une station terrienne d'émission
non OSG et une station de Terre de réception dans l'azimut = 0°**

Gain de l'antenne d'émission G_{ii} (dBi)	Fonction de densité de probabilité du gain	Fonction de distribution cumulative du gain	$p' = p/p_i$	Affaiblissement requis (dB)	Distance de coordination d_i (km)
-12,0	0,000000	1,000000	0,000020	148,5	163,73
-11,5	0,000000	1,000000	0,000020	149,0	168,23
-11,0	0,000000	1,000000	0,000020	149,5	172,83
-10,5	0,709370	1,000000	0,000020	150,0	177,33
-10,0	0,016990	0,290630	0,000069	150,5	165,63
-9,5	0,016410	0,273640	0,000073	151,0	169,03
-9,0	0,015890	0,257230	0,000078	151,5	172,33
-8,5	0,015360	0,241340	0,000083	152,0	175,53
-8,0	0,014800	0,225980	0,000089	152,5	178,73
-7,5	0,014190	0,211180	0,000095	153,0	181,83
-7,0	0,013670	0,196990	0,000102	153,5	184,83
-6,5	0,013100	0,183320	0,000109	154,0	187,73
-6,0	0,012570	0,170220	0,000118	154,5	190,43
-5,5	0,012040	0,157650	0,000127	155,0	193,13
-5,0	0,011530	0,145610	0,000137	155,5	195,73
-4,5	0,011030	0,134080	0,000149	156,0	198,13
-4,0	0,010510	0,123050	0,000163	156,5	200,53
-3,5	0,009990	0,112540	0,000178	157,0	202,63
-3,0	0,009480	0,102550	0,000195	157,5	204,73
-2,5	0,008970	0,093070	0,000215	158,0	206,63
-2,0	0,008500	0,084100	0,000238	158,5	208,33
-1,5	0,007950	0,075600	0,000265	159,0	209,83
-1,0	0,007460	0,067650	0,000296	159,5	211,13
-0,5	0,007040	0,060190	0,000332	160,0	212,23
0,0	0,006540	0,053150	0,000376	160,5	213,03
0,5	0,006190	0,046610	0,000429	161,0	213,63
1,0	0,005640	0,040420	0,000495	161,5	213,83
1,5	0,005330	0,034780	0,000575	162,0	213,63
2,0	0,004850	0,029450	0,000679	162,5	212,93
2,5	0,004450	0,024600	0,000813	163,0	211,63
3,0	0,004060	0,020150	0,000993	163,5	209,63
3,5	0,003610	0,016090	0,001243	164,0	206,53
4,0	0,003220	0,012480	0,001603	164,5	202,23
4,5	0,002830	0,009260	0,002160	165,0	196,03
5,0	0,002370	0,006430	0,003110	165,5	186,63
5,5	0,001940	0,004060	0,004926	166,0	172,33
6,0	0,001440	0,002120	0,009434	166,5	147,23
6,5	0,000640	0,000680	0,029412	167,0	104,43
7,0	0,000040	0,000040	0,200000	167,5	104,43

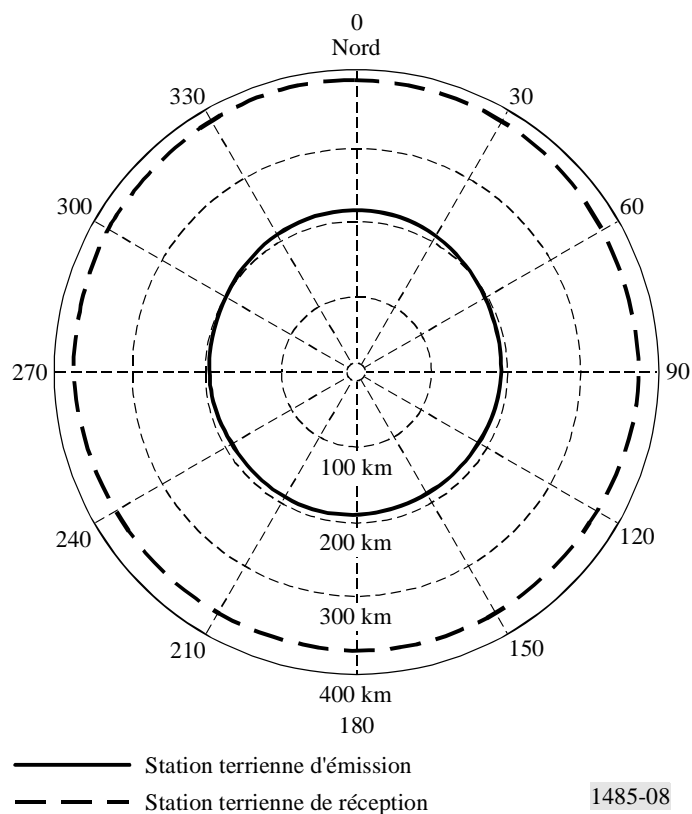
TABLEAU 5

Distance de coordination entre stations terriennes non OSG et stations de Terre

Azimut (degrés)	Distance de coordination d (km)		Azimut (degrés)	Distance de coordination d (km)	
	Station terrienne d'émission	Station terrienne de réception		Station terrienne d'émission	Station terrienne de réception
10	212,82	387,42	190	191,02	371,72
20	210,42	386,02	200	191,02	371,72
30	207,33	384,12	210	191,12	371,82
40	204,22	382,02	220	191,12	371,92
50	201,32	380,02	230	191,32	372,12
60	198,93	378,22	240	191,62	372,42
70	196,82	376,62	250	192,22	372,82
80	195,12	375,32	260	192,92	373,42
90	193,82	374,32	270	193,82	374,32
100	192,93	373,42	280	195,12	375,32
110	192,22	372,82	290	196,82	376,62
120	191,63	372,42	300	198,92	378,22
130	191,32	372,12	310	201,32	380,02
140	191,22	371,92	320	204,22	382,02
150	191,03	371,82	330	207,32	384,12
160	191,03	371,72	340	210,42	386,02
170	191,03	371,72	350	212,82	387,42
180	191,03	371,72	0 ou 360	213,83	387,92

FIGURE 8

Contours de coordination pour des stations terriennes non OSG et des stations de Terre



ANNEXE 2

Description de la méthode composite

1 Introduction

Dans la méthode composite (voir la Recommandation UIT-R SM.1448), le contour de coordination est déterminé à l'aide de calculs qui appliquent avec précision les statistiques variant avec le temps associées à l'affaiblissement de transmission de référence prévu et au gain d'antenne d'une station terrienne en direction de l'horizon. Cette méthode prend en compte les statistiques conjointes d'affaiblissement de propagation et de gain d'antenne en convolutionnant leurs fonctions de densité de probabilité.

Dans les cas où les statistiques de gain d'antenne en direction de l'horizon sont prévisibles avec une fiabilité élevée, le contour de coordination déterminé à l'aide de cette méthode garantit qu'aucune station de Terre située en dehors de celui-ci ne provoque ou subit un brouillage inacceptable en rapport avec cette station terrienne.

Pour la méthode composite, la formule (2) de l'Annexe 1 est remplacée par la condition suivante:

$$(L_c - G_a)(p) > P_t + G_b - P_r(p) \quad (13)$$

où:

- $(L_c - G_a)(p)$: combinaison de l'affaiblissement de transmission de référence à une distance de d km et du gain d'antenne en direction de l'horizon non dépassé pendant $p\%$ du temps. La méthode d'évaluation de cette fonction est décrite ci-dessous
- P_t : niveau de puissance d'émission disponible maximal (dBW) dans la largeur de bande de référence à l'entrée de l'antenne d'une station brouilleuse
- G_b : gain d'antenne de la station terrienne (ou, dans le cas d'une liaison bidirectionnelle, de la station de Terre de réception)
- $P_r(p)$: seuil de brouillage d'une émission brouilleuse (dBW) dans la largeur de bande de référence qui ne doit pas être dépassé pendant plus de $p\%$ du temps à la sortie de l'antenne de réception d'une station brouillée, l'émission brouilleuse provenant d'une source unique.

On utilise un processus itératif pour incrémenter la distance de coordination jusqu'à ce que la partie gauche de la formule (13) dépasse la partie droite. La première distance pour laquelle cette condition est remplie est la distance de coordination. Pour chaque incrément de distance, il est nécessaire de répéter le calcul de $(L_c - G_a)(p)$ à l'aide d'un processus impliquant une convolution discrète.

Dans la description donnée ici, on fait l'hypothèse que le modèle de propagation remplit deux conditions:

- a) que le modèle donne un affaiblissement non dépassé pendant des pourcentages de temps dans la fourchette de 0,001% à 50%;
- b) que le modèle donne un affaiblissement sous la forme d'une fonction augmentant régulièrement en fonction de la distance.

Si la méthode composite était appliquée avec un modèle de propagation ne répondant pas à la condition a) il faudrait réviser la méthode d'extension de la distribution cumulative à des pourcentages de temps supérieurs à 50% (§ 2.3 de la présente Annexe). Si le modèle de propagation ne répondait pas à la condition b) (par exemple celui de la Recommandation UIT-R P.452), il faudrait réviser la méthode d'itération utilisée pour déterminer la distance à laquelle le seuil de brouillage est atteint. Le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P.620 remplit ces deux conditions et peut dès lors être utilisé avec la méthode composite présentée ici.

Le processus se compose des étapes suivantes.

2 Méthodologie de calcul

2.1 Nomenclature

La nomenclature suivante est utilisée dans cette description:

- X : ensemble ou matrice de valeurs
- X_i : $i^{\text{ème}}$ valeur de l'ensemble X
- N_X : nombre de valeurs de X
- $q_G(\mathbf{G})$: fonction de distribution de probabilité du gain d'antenne en direction de l'horizon; en d'autres termes $q_G(G_i)$ désigne la probabilité pour que le gain d'antenne en direction de l'horizon soit égal à G_i
- $q_L(\mathbf{L})$: fonction de distribution de probabilités de l'affaiblissement le long du trajet pour une distance donnée; en d'autres termes $q_L(L_i)$ désigne la probabilité pour que l'affaiblissement le long du trajet soit égal à L_i
- $r_L(\mathbf{L})$: fonction de distribution cumulative de l'affaiblissement le long du trajet pour une distance donnée; en d'autres termes $r_L(L_i)$ désigne la probabilité pour que l'affaiblissement le long du trajet soit inférieur à L_i
- $q_C(\mathbf{C})$: fonction de distribution de probabilités de la combinaison affaiblissement le long du trajet - gain d'antenne en direction de l'horizon pour une distance donnée; en d'autres termes $q_C(C_i)$ désigne la probabilité pour que la combinaison affaiblissement le long du trajet - gain d'antenne en direction de l'horizon soit égal à C_i
- $r_C(\mathbf{C})$: fonction de distribution cumulative de la combinaison affaiblissement le long du trajet - gain d'antenne en direction de l'horizon pour une distance donnée; en d'autres termes $r_C(C_i)$ désigne la probabilité pour que la combinaison affaiblissement le long du trajet - gain d'antenne en direction de l'horizon soit supérieur à C_i
- s : résolution des fonctions de distribution de probabilités de gain d'antenne en direction de l'horizon et d'affaiblissement le long du trajet. Une valeur de $s = 0,1$ dB est recommandée
- d_{min} : distance de coordination minimale telle que définie dans la Recommandation UIT-R P.620
- d_{max} : distance de coordination maximale telle que définie dans la Recommandation UIT-R P.620
- d_s : incrément de longueur de trajet pour l'itération. Une valeur comprise entre 0,1 et 0,5 km est recommandée.

2.2 Méthodologie de calcul: points essentiels

a) Conformément au § 3 de l'Annexe 1, déterminer la distribution de probabilités complète du gain d'antenne en direction de l'horizon $q_G(\mathbf{G})$, pour chaque azimut α . Toute valeur de (\mathbf{G}) doit être un multiple entier de s dB, par exemple $q_G(\mathbf{G}) = \{-10,0, -9,9, -9,8, \dots\}$ dBi.

b) Pour chaque α , procéder comme suit:

Etape 1: La distance considérée est notée d_i et est donnée par:

$$d_i = \{d_{min}, d_{min} + d_s, d_{min} + 2d_s, \dots\} \quad \text{km}$$

Etape 2: En commençant par la distance d_i , procéder comme suit:

Etape 2.1: déterminer la distribution de probabilités de l'affaiblissement de transmission de référence $q_L(\mathbf{L})$ conformément à la description donnée dans le § 2.3 de la présente Annexe;

Etape 2.2: les deux distributions de probabilités $q_L(\mathbf{L})$ et $q_G(\mathbf{G})$ sont convolutionnées puis intégrées pour donner une distribution de probabilités cumulative $r_C(\mathbf{C})$ conformément à la description donnée dans le § 2.4 de la présente Annexe;

Etape 2.3: la valeur de $(L_c - G_a)(p)$ est la valeur non dépassée par la distribution cumulative de la combinaison affaiblissement de transmission de référence - gain d'antenne en direction de l'horizon pendant $p\%$ du temps. En d'autres termes, il s'agit de la valeur de C_i pour laquelle $r_C(C_i) = p$ où p est le pourcentage de temps associé au niveau seuil de brouillage. S'il n'existe pas de valeur de $r_C(C_i)$ qui corresponde exactement à p , il est généralement acceptable de prendre la valeur la plus proche;

Etape 2.4: si l'inégalité de la formule (13) n'est pas vérifiée et que $d_i < d_{max}$, incrémenter d_i et répéter les étapes 2.1 à 2.4. Dans le cas contraire, la distance de coordination est d_i .

NOTE 1 – On peut utiliser des méthodes d'itération plus efficaces qui convergeraient plus rapidement vers la distance de coordination requise. D'autres méthodes d'itération peuvent être appliquées à condition qu'elles convergent et que leur erreur soit inférieure à 0,5 km.

2.3 Détermination de la distribution de probabilités de l'affaiblissement de transmission de référence

Une fonction de distribution de probabilité de l'affaiblissement de transmission de référence est nécessaire pour la distance d_i . L'ensemble des valeurs de l'affaiblissement de transmission de référence est noté L où:

$$L = \{L_{min}, L_{min} + s, L_{min} + 2s, \dots, L_{max}\} \quad \text{dB}$$

et s désigne la valeur de l'incrément.

La valeur minimale, L_{min} , est la valeur de l'affaiblissement de transmission de référence correspondant à $p = 0,001\%$. La valeur maximale, L_{max} , est donnée par:

$$L_{max} = 2L_{mean} - L_{min} \quad \text{dB}$$

où L_{mean} est la valeur de l'affaiblissement de transmission de référence correspondant à $p = 50\%$.

Les valeurs de L_{min} et L_{max} doivent être arrondies au s dB le plus proche. Pour chaque valeur de L , il est nécessaire d'associer un pourcentage de temps représentant le pourcentage de temps pendant lequel cette valeur n'est pas dépassée, $r_L(L_i)$. La méthode pour déterminer $r_L(L_i)$ varie en fonction de la valeur de L_i , comme indiqué dans le Tableau 6:

TABLEAU 6

L_i	$r_L(L_i)$
L_{min}	0,001
$L_{min} < L_i < L_{mean}$	Déterminé par itération; en d'autres termes, dans le modèle de propagation, les valeurs de distance et d'affaiblissement de transmission de référence sont fixes et la valeur correspondante de p est obtenue par itération
L_{mean}	50
$L_{mean} < L_i < L_{max}$	$100 - r_L(2L_{mean} - L_i)$
L_{max}	99,999

Il est alors nécessaire de déterminer la fonction de distribution de probabilité de l'affaiblissement de propagation de référence de la distribution cumulative. Elle est notée $q_L(L)$ et peut être déterminée à partir de :

$$q_L(L_i) = r_L(L_i) \quad \text{pour } i = 1$$

et

$$q_L(L_i) = r_L(L_i) - r_L(L_{i-1}) \quad \text{pour } i > 1$$

2.4 Méthode de convolution des distributions de probabilités

On procède comme suit pour déterminer la fonction de distribution de probabilité, puis la fonction de distribution cumulative de la combinaison gain d'antenne en direction de l'horizon et affaiblissement de propagation de référence pour la distance d_i .

Les valeurs maximale et minimale des distributions de la combinaison sont données par:

$$C_{max} = L_{max} - G_{min} \quad \text{dB}$$

et

$$C_{min} = L_{min} - G_{max} \quad \text{dB}$$

L'ensemble des valeurs de C est dès lors:

$$C = \{C_{min}, C_{min} + s, C_{min} + 2s \dots, C_{max}\} \quad \text{dB}$$

Soit N_L et N_G le nombre de valeurs dans chaque L et de G respectivement.

Pour chaque valeur de C_i , une convolution discrète est effectuée pour obtenir la probabilité totale pour que la combinaison affaiblissement le long du trajet - gain d'antenne en direction de l'horizon soit égale à la valeur de C_i :

$$q_C(C_i) = \sum_{n=l}^u q_L(L_n) \cdot q_G(L_n - C_i)$$

Les limites inférieure et supérieure de la sommation sont données par:

$$l = \begin{cases} i - N_G + 1 & \text{pour } i > N_G \\ 1 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

$$u = \begin{cases} i & \text{pour } i \leq N_L \\ N_L & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

La distribution cumulative de la combinaison affaiblissement de transmission de référence et gain d'antenne en direction de l'horizon est donnée par:

$$r_C(C_i) = q_C(C_i) \quad \text{pour } i = 1$$

$$r_C(C_i) = r_C(C_{i-1}) + q_C(C_i) \quad \text{pour } i > 1$$
