

## RECOMMANDATION UIT-R S.1430

**DÉTERMINATION DE LA ZONE DE COORDINATION DES STATIONS TERRIENNES  
FONCTIONNANT AVEC DES STATIONS SPATIALES NON OSG PAR RAPPORT  
AUX STATIONS TERRIENNES FONCTIONNANT DANS LE SENS  
INVERSE DANS LES BANDES DE FRÉQUENCES ATTRIBUÉES  
BIDIRECTIONNELLEMENT AU SFS**

(Questions UIT-R 253/4, UIT-R 231/4 et UIT-R 212/1)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que certaines bandes de fréquences sont attribuées au SFS pour utilisation par des systèmes non OSG dans les sens de transmission Terre-espace et espace-Terre;
- b) que ces bandes de fréquences sont également disponibles pour des systèmes OSG;
- c) qu'il existe par conséquent un risque de brouillage mutuel entre stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales OSG ou avec des stations spatiales non OSG;
- d) qu'un tel brouillage potentiel peut être atténué ou éliminé par la coordination de ces stations terriennes;
- e) qu'il est souhaitable de limiter le nombre de coordinations à réaliser le cas échéant;
- f) qu'il est possible de définir une zone autour d'une station terrienne d'émission en dehors de laquelle une station terrienne de réception ne serait soumise qu'à un brouillage négligeable;
- g) que la Commission d'études 1 des radiocommunications regroupe les résultats d'études entreprises par toutes les Commissions d'études concernées en vue de l'élaboration de textes détaillés susceptibles d'être utilisés pour réviser l'Appendice S7 du RR;
- h) que la Recommandation UIT-R P.620 présente un modèle de propagation conçu pour la coordination de stations terriennes,

*recommande*

- 1 de déterminer une zone de coordination bidirectionnelle pour chaque station terrienne d'émission, dans les bandes de fréquences attribuées au SFS dans les sens de transmission Terre-espace et espace-Terre et utilisées par des systèmes du SFS non OSG ou OSG;
- 2 d'utiliser, dans ce but, l'Annexe 1 de la présente Recommandation.

## ANNEXE 1

**Détermination de la zone de coordination des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non OSG par rapport aux stations terriennes fonctionnant dans le sens inverse dans les bandes de fréquences attribuées bidirectionnellement au SFS****1 Introduction**

La présente méthode a été mise au point pour la détermination de la zone de coordination bidirectionnelle autour d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG dans des bandes de fréquences utilisées bidirectionnellement par cette station terrienne et des stations terriennes OSG.

L'exploitation de stations terriennes d'émission et de réception non OSG ou OSG dans des bandes de fréquences attribuées bidirectionnellement peut provoquer des brouillages entre stations des deux applications du SFS. L'ampleur de ces brouillages dépend de l'affaiblissement de transmission sur le trajet de brouillage qui, à son tour, est tributaire de facteurs tels que la longueur et la configuration géométrique générale du trajet de brouillage, l'angle d'élévation minimal de fonctionnement, la distribution du gain d'antenne par rapport au temps, les conditions radioclimatiques et le pourcentage de temps pendant lequel l'affaiblissement de transmission doit être dépassé.

La méthode décrite permet de déterminer, pour tous les azimuts à partir de la station terrienne d'émission, la distance au-delà de laquelle l'affaiblissement de transmission doit toujours dépasser une valeur spécifiée à l'exception d'un pourcentage de temps spécifié. Cette distance ainsi déterminée est appelée distance de coordination. Les extrémités des distances de coordination déterminées pour tous les azimuts définissent un contour de coordination autour de la station terrienne qui contient la zone de coordination. Pour toute station terrienne située en dehors de la zone de coordination, la probabilité de provoquer ou de subir un brouillage significatif est considérée comme étant négligeable.

Les stations situées en dehors de la zone de coordination d'une station prévue donnée ne sont pas concernées par la question de coordination. Dès lors, les besoins de coordination d'une station peuvent être strictement nationaux si la zone de coordination de la station prévue se trouve entièrement sur le territoire de l'administration notificatrice, ou nationaux et internationaux si la zone de coordination comprend également le territoire d'une autre administration, auquel cas il faut obtenir l'accord de coordination de cette administration.

Les stations situées dans la zone de coordination d'une station prévue doivent être examinées initialement au cas par cas en prenant en compte la discrimination de l'antenne, la distance de séparation et le profil du trajet si nécessaire.

Bien que fondée sur des données techniques, la zone de coordination est une notion administrative. Comme elle est déterminée avant que des cas précis de brouillage potentiel ne soient étudiés en détail, elle doit par conséquent s'appuyer sur des paramètres présumés concernant les stations terriennes de réception, les paramètres effectifs des stations terriennes d'émission étant connus.

Une fois la zone de coordination autour d'une station terrienne calculée, on peut affirmer, à propos d'une autre station terrienne devant être exploitée dans le sens inverse:

- si la station terrienne est située en dehors de la zone de coordination, que le risque de brouillage sera faible;
- si la station terrienne est située à l'intérieur de la zone de coordination, qu'il sera nécessaire d'effectuer une coordination détaillée.

La zone de coordination sera en principe déterminée pour le cas où la station terrienne non OSG est émettrice et donc en mesure de brouiller les signaux reçus par d'autres stations terriennes. Il peut également s'avérer nécessaire de déterminer la zone de coordination pour le cas où la station terrienne non OSG est réceptrice et donc en mesure d'être brouillée par des émissions en provenance d'autres stations terriennes.

La méthode présentée dans cette Annexe décrit la situation dans laquelle la station terrienne non OSG est émettrice. La méthodologie présentée peut également s'appliquer dans le cas où la station terrienne non OSG est réceptrice. Pour le calcul de la zone de coordination d'une station terrienne d'émission, on peut trouver les paramètres nécessaires dans la Recommandation UIT-R SM.1448. Dans le cas d'une station terrienne réceptrice, la méthodologie ne peut être utilisée que sur une base bilatérale dans la mesure où les paramètres de la station terrienne d'émission par rapport à laquelle la zone de coordination est établie devront être fournis par l'administration responsable.

La zone de coordination d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale OSG sur une orbite OSG légèrement inclinée doit être déterminée pour l'angle d'élévation minimal et pour l'azimut associés auxquels la station spatiale est visible par la station terrienne.

## **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 terrienne OSG, repose sur le postulat que l'affaiblissement d'un signal brouilleur est, ou peut être, représenté par une fonction qui augmente régulièrement selon 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 (si  $p$  est un faible pourcentage du temps, de l'ordre de 0,001 à 1,0% du temps, il est qualifié de court terme; si  $p \geq 20\%$ , il est qualifié de long terme):

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

où:

$P_t$ : niveau de puissance d'émission maximale disponible (dBW) dans la largeur de bande de référence, à l'entrée de l'antenne d'une station terrienne brouilleuse

$P_r(p)$ : 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, 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 de fonctionnement du système brouillé.

La distance de coordination peut alors être déterminée à l'aide d'un modèle de propagation approprié. L'UIT-R a mis au point des modèles de propagation appropriés à la détermination de la zone de coordination de stations terriennes fonctionnant avec des réseaux non OSG.

## 2.2 Notion d'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible

L'affaiblissement de transmission est défini sous forme de paramètres séparables, à savoir un affaiblissement de transmission de référence (c'est-à-dire entre antennes isotropes) et les gains effectifs des antennes placées aux deux extrémités d'un trajet de brouillage. L'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible peut alors 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 transmission de référence minimal admissible (dB) pendant  $p\%$  du temps; valeur que l'affaiblissement de transmission de référence effectif ou prévu doit dépasser pendant  $(100 - p)\%$  du temps

$G_t$ : gain de l'antenne d'émission de la station brouilleuse en direction de l'horizon physique pour un azimut donné (dBi). Si la station brouilleuse est une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG, alors  $G_t$  est une fonction qui varie avec le temps

$G_r$ : gain de l'antenne de réception de la station brouillée en direction de l'horizon physique pour un azimut donné (dBi). Si la station brouillée est une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG, alors  $G_r$  est une fonction qui varie avec le temps.

## 2.3 Détermination du seuil de brouillage $P_r(p)$ d'une émission brouilleuse

Le seuil de brouillage (dBW) d'une émission brouilleuse 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 susceptible d'être brouillée, provenant de chaque source de brouillage, est donné par la formule générale suivante:

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

où:

- $k$ : constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $T_e$ : température de bruit thermique du système de réception (K), à la sortie de l'antenne de réception (voir la Note 1)
- $N_L$ : contribution au bruit sur la liaison (voir la Note 2)
- $B$ : largeur de la bande de référence (Hz), c'est-à-dire la largeur de bande intéressant le système brouillé dans laquelle on peut déterminer la valeur moyenne de la puissance de l'émission brouilleuse
- $p$ : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant d'une seule source peut dépasser la valeur seuil; du fait de la non-simultanéité probable des brouillages provenant des diverses sources:  $p = p_0/n$
- $p_0$ : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant de toutes les sources peut dépasser la valeur seuil
- $n$ : nombre des sources de brouillage équivalentes de niveau égal et de probabilité égale, supposées non corrélées pendant des pourcentages de temps faibles
- $M_s$ : marge de qualité de la liaison (dB) (voir la Note 3)
- $W$ : facteur d'équivalence (dB) permettant d'établir une relation entre le brouillage provenant d'émissions brouilleuses et celui provoqué alternativement par l'introduction d'un bruit thermique supplémentaire de même puissance dans la largeur de bande de référence (voir la Note 4).

NOTE 1 – Les températures de bruit de système récepteur de station terrienne suivantes doivent être utilisées dans la mesure où la position et les caractéristiques précises de la station sont inconnues:

Gamme de fréquences (GHz)	$T_e$ (K)
1-10	75
10-17	150
> 17	300

NOTE 2 – Le facteur  $N_L$  est la contribution au bruit sur 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 brouillage spécifiques, on fait l'hypothèse que  $N_L = 1$  dB pour les liaisons du SFS.

NOTE 3 –  $M_s$  est le facteur d'accroissement du bruit sur la liaison par temps clair nécessaire pour obtenir la qualité minimale spécifiée. Il s'agit de la somme (dB) des deux marges  $\bar{M}$  (marge de qualité naturelle) et  $\Delta M$  (marge excédentaire de fonctionnement). La marge de qualité naturelle  $M_0$  est la différence (dB) entre les deux valeurs du rapport  $C/N$  qui permettraient juste d'obtenir la qualité nominale spécifiée (long terme) et la qualité minimale spécifiée (court terme) respectivement. La marge excédentaire  $\Delta M$  est la différence (dB) entre le rapport  $C/N$  effectif par temps clair et celui qui permettrait d'obtenir la qualité nominale spécifiée; elle peut être égale à 0 dB. Dès lors,  $M_s$  est la marge d'évanouissement réelle mais également la marge d'accroissement du bruit de fond par temps clair (par exemple du fait d'émissions brouilleuses) nécessaire pour obtenir les conditions propres à assurer la qualité minimale.

Dans les systèmes analogiques du SFS,  $M_0$  est donné par  $M_0 = 10 \log (50\,000/10\,000) = 7$  dB. Comme cette valeur suffit pour faire face à un évanouissement, au moins aux fréquences inférieures à environ 17 GHz, on prend  $\Delta M = 0$  dB, de sorte que  $M_s = 7$  dB. Pour les fréquences supérieures à environ 17 GHz, il faudra éventuellement donner à  $\Delta M$  une valeur supérieure à 0 dB.

Dans les systèmes numériques du SFS,  $M_0$  peut ne pas dépasser 1 dB pour des circuits par satellite réels. Dans ces circuits, du fait de la présence de codes CED, la courbe du TEB en fonction du rapport  $C/N$  est très pentue. De plus, pour des TEB ne dépassant pas  $1 \times 10^{-5}$ , le décodeur du modem peut perdre la synchronisation du flux binaire entrant à mesure que l'algorithme FEC du modem commence à se décomposer. Le temps de retour à la normale, en particulier pour des débits binaires très faibles, peut être notablement long. Dès lors, une dégradation du rapport  $C/N$  de l'ordre de 1,0 dB, lorsque le TEB est de  $1 \times 10^{-7}$ , peut entraîner une dégradation de la qualité et/ou une interruption de service pour l'utilisateur final pouvant durer de quelques secondes à plusieurs minutes. La faible valeur de  $M_0$ , c'est-à-dire 1 dB,

risquant de ne pas suffire pour faire face à l'évanouissement sur des liaisons réelles,  $M_s$  doit être évalué directement à partir de la profondeur d'évanouissement attendue pour les pourcentages de temps réels concernés. On peut donc dans la pratique prendre les valeurs suivantes pour  $M_s$ :

$F$ (GHz)	$M_s$ (dB)
< 10	2
10-17	4
> 17	6

NOTE 4 – Le facteur  $W$  (dB) est le rapport de la puissance de bruit thermique radioélectrique sur la puissance reçue de l'émission brouilleuse qui, à la place du premier et contenue dans la même largeur de bande (de référence), produirait le même brouillage (c'est-à-dire un accroissement de la puissance de bruit dans la voie vidéo ou téléphonique ou du TEB). Le facteur  $W$  dépend généralement des caractéristiques du signal utile et du signal brouilleur. Il est positif lorsque les émissions brouilleuses provoqueraient plus de dégradation que le bruit thermique. Quand le signal utile est numérique,  $W$  est habituellement inférieur ou égal à 0 dB, quelles que soient les caractéristiques du signal brouilleur.

### 3 Détermination du gain d'antenne d'une station terrienne non OSG

Pour une station terrienne fonctionnant avec des satellites non OSG, le gain d'antenne varie en fonction du temps. Les statistiques du gain d'antenne d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG en direction de l'horizon peuvent être fournies par une administration ou obtenues par des simulations informatiques.

On donne ci-après une méthode s'appuyant sur des simulations informatiques pour calculer le gain variable en fonction du temps de l'antenne d'émission ou de réception d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG:

- Simuler la constellation de satellites non OSG sur une période suffisamment longue (c'est-à-dire un cycle de répétition de la constellation) avec un pas temporel approprié en fonction de l'altitude de l'orbite pour obtenir une représentation valide des variations de gain de l'antenne.
- A chaque pas temporel, enregistrer l'azimut de la station terrienne et les angles d'élévation de tous les satellites visibles par la station terrienne et situés au-dessus de l'angle d'élévation minimal de fonctionnement. Outre l'angle d'élévation, on peut utiliser d'autres critères pour éviter certaines configurations géométriques, en particulier pour éviter tout arc de l'orbite des satellites géostationnaires.
- Utiliser le diagramme de rayonnement réel de l'antenne de la station terrienne ou une formule donnant une bonne approximation de celui-ci pour calculer le gain en direction de l'horizon pour chaque azimut et angle d'élévation autour de la station terrienne.
- Pour chaque azimut autour de la station terrienne et en direction de l'horizon, calculer le pourcentage de temps pendant lequel on a chaque valeur de gain. La fonction de distribution de probabilité (fdp) du gain d'antenne en direction de l'horizon varie de  $G_{min}$  à  $G_{max}$ . Il est recommandé d'utiliser un pas de  $s$  dB entre  $G_{min}$  et  $G_{max}$ , c'est-à-dire  $G = \{G_{min}, G_{min} + s, G_{min} + 2s, \dots, G_{max}\}$ . Une valeur de  $s$  comprise entre 0,1 à 0,5 dB est conseillée.
- Déterminer la fonction de distribution cumulative du gain en intégrant la fonction de densité du gain; cette fonction de distribution cumulative (fdc) donne le pourcentage de temps pendant lequel le gain est inférieur ou égal à une valeur donnée.

Les formules suivantes doivent être utilisées dans l'approche algorithmique ci-dessus pour décrire la configuration géométrique du dispositif de visée de l'antenne de la station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG en fonction du temps.

Dans le cas d'une Terre sphérique et d'une orbite circulaire, l'angle d'élévation ( $\epsilon_t$ ) vers un satellite non géostationnaire vu depuis une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG est donné par la formule:

$$\epsilon_t = \arcsin \left\{ \left( r_s \cos(\psi) - r_g \right) / \left( r_s^2 + r_g^2 - 2r_s r_g \cos(\psi) \right)^{0,5} \right\} \quad (4)$$

où:

$$\cos(\psi) = \cos(\xi_t) [\cos(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(\omega + f) + \sin(\dot{\theta}t + \lambda_g - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega + f)] \\ + \sin(\xi_g) \sin(i_s) \sin(\omega + f)$$

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

$\omega_e$ : vitesse de rotation de la Terre = 0,004178 (degrés/s)

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

$\psi$ : angle entre les vecteurs du centre de la Terre au satellite non géostationnaire et du centre de la Terre à la station terrienne non OSG (degrés)

$r_s$ : distance du centre de la Terre au satellite non géostationnaire (km)

$r_g$ : distance du centre de la Terre à la station terrienne non OSG (km)

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

$i_s$ : angle d'inclinaison opérationnel de l'orbite du satellite non géostationnaire (degrés)

$\omega$ : argument de périégée de l'orbite du satellite non géostationnaire à l'instant  $t$  (degrés)

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

$\lambda_g, \xi_g$ : longitude et latitude de la station terrienne non OSG (degrés)

$t$ : temps (s).

Le vecteur du centre de la Terre au satellite en fonction du temps est donné par la formule:

$$r_s = r_s \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = r_s \begin{bmatrix} \sin(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega + f) + \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \cos(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega + f) - \sin(\dot{\theta}t - \lambda_s) \cos(\omega + f) \\ \sin(i_s) \sin(\omega + f) \end{bmatrix} \quad (5)$$

La longitude,  $\lambda_t$  et la latitude,  $\xi_t$ , du point subsatellite en fonction du temps sont:

$$\lambda_t = \arctg(y/z) \quad \xi_t = \arcsin(z/r_s) \quad (6)$$

L'azimut,  $\alpha_s$ , du satellite non géostationnaire vu depuis la station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG est:

$$\alpha_s = \left\{ \frac{\cos(\xi_t) \sin(\delta)}{\sin(\xi_g) \cos(\xi_t) \cos(\delta) - \cos(\xi_g) \sin(\xi_t)} \right\} \quad (7)$$

où:

$$\delta = \lambda_g - \lambda_t \quad (8)$$

L'angle  $\varphi(\alpha_s)$  (entre l'axe de visée de l'antenne et la direction de l'horizon) correspondant à l'azimut  $\alpha_s$  exprimé en fonction de l'azimut et de l'angle d'élévation ( $\alpha_s, \varepsilon_t$ ) de l'axe de visée et de l'azimut et de l'angle d'élévation ( $\alpha_0, \varepsilon_0$ ) dans la direction considérée, est donné par la formule:

$$\varphi(\alpha_s) = \arccos \left\{ \cos(\alpha_s - \alpha_0) \cos(\varepsilon_t) \cos(\varepsilon_0) + \sin(\varepsilon_t) \sin(\varepsilon_0) \right\} \quad (9)$$

lorsque  $\varepsilon_0 = 0^\circ$ :

$$\varphi(\alpha_s) = \arccos \left\{ \cos(\alpha_s - \alpha_0) \cos(\varepsilon_t) \right\} \quad (10)$$

L'Appendice 1 de l'Annexe 1 contient des exemples de calcul du gain d'antenne d'une station terrienne non OSG en direction de l'horizon.

## 4 Détermination du gain d'antenne en direction de l'horizon pour une station inconnue

### 4.1 Détermination de $G_r$ pour une station terrienne OSG

Comme non seulement les caractéristiques précises de la station terrienne de réception mais également sa position précise sont inconnues, on utilise le fait que cette station doit être supposée se trouver sur la frontière de la zone de coordination bidirectionnelle et donc être relativement proche, en termes géométriques globaux, de la station terrienne d'émission. On peut dès lors adopter l'hypothèse simplificatrice qu'il est possible d'appliquer les principes de la géométrie plane et non de la géométrie sphérique entre les deux stations terriennes et que la station terrienne de réception se situe à la même latitude que la station terrienne d'émission autour de laquelle on doit déterminer la zone de coordination.

Comme l'indique la formule (2), les gains des antennes d'émission et de réception en direction de l'horizon doivent être ajoutés pour chaque azimut. Ceci permet de tracer directement le gain de l'antenne d'émission en fonction de son azimut, sachant qu'un azimut donné à l'emplacement de l'antenne d'émission est l'azimut opposé à l'emplacement de l'antenne de réception. En conséquence, à toute valeur de  $G_r$  obtenue pour chaque azimut  $\alpha$  de la station terrienne non OSG d'émission, il faut ajouter une valeur de  $G_r$  qui est obtenue pour l'azimut  $\alpha' = (\alpha + 180^\circ)$ .

Pour déterminer le gain d'antenne  $G_r$  de la station terrienne de réception, on tient compte de ce qui suit:

- Le faisceau principal n'est pas dirigé vers l'horizon physique mais vers un satellite situé à un certain angle d'élévation, éventuellement élevé.
- La direction du faisceau principal est limitée par les positions possibles des satellites OSG.

Dès lors, pour déterminer le gain  $G_r$  d'une station terrienne OSG, en l'absence de toute information concernant la position de la station terrienne de réception, on utilise la méthode décrite à l'Appendice 2 de l'Annexe 1.

Comme on ne sait pas à l'avance vers quel point d'orbite le faisceau de l'antenne d'une station terrienne de réception est dirigé, le gain d'antenne en direction de l'horizon doit être déterminé pour tous les points de l'orbite des satellites géostationnaires. De plus, comme l'angle d'élévation de l'horizon est inconnu, on utilise  $0^\circ$  pour tous les azimuts. Enfin, l'hypothèse selon laquelle la latitude de la station terrienne de réception est la même que celle de la station terrienne d'émission pour laquelle la zone de coordination est déterminée, est une hypothèse simplificatrice qui introduit, en règle générale, des erreurs négligeables qui, dans tous les cas, ne dépassent pas 2 dB.

Il s'ensuit que la méthode indiquée au Cas 2 de l'Appendice 2 de l'Annexe 1 pour le calcul du gain d'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon doit être appliquée pour chaque azimut opposé  $\alpha'$ , pour un angle d'élévation de l'horizon de  $0^\circ$ .

L'hypothèse d'un angle d'élévation de l'horizon de  $0^\circ$  est prudente dans la mesure où l'accroissement du gain d'antenne dû à un horizon élevé serait, dans la pratique, plus qu'annulé par tout effet d'écran du terrain réel qui, pour l'antenne de réception, doit être supposé égal à zéro. Il faut noter que, bien qu'on puisse faire l'hypothèse qu'il n'existe aucun effet d'écran du terrain pour la station terrienne de réception, tout effet d'écran existant au niveau de la station terrienne d'émission doit être normalement pris en compte.

On trouvera ci-dessous un exemple de la manière dont les gains d'antenne  $G_t$  et  $G_r$  doivent être ajoutés sur un tracé avec azimut commun:

$$\alpha = 192^\circ$$

$$\alpha + 180^\circ = 372^\circ = 360^\circ + 12^\circ$$

$$\alpha' = 12^\circ$$

On obtient  $G_t + G_r$  à partir de:

$$G_t + G_r = G_t(\alpha) + G_r(\alpha') \quad \text{dB} \quad (11)$$

pour chaque azimut  $\alpha$  d'une station terrienne d'émission à utiliser dans la formule (2). Lors de la détermination de  $G_r(\alpha')$  à l'aide de la formule (28) de l'Appendice 2 de l'Annexe 1 et des formules qui la suivent, la valeur de  $G_{max}$  à utiliser est de 42 dBi.

## 4.2 Détermination de $G_r$ pour une station terrienne non OSG

Lorsque la station terrienne inconnue fonctionne avec des stations spatiales non OSG, le gain d'antenne en direction de l'horizon pour tout azimut doit normalement varier en fonction du temps. Par définition, il est impossible de disposer d'informations concernant les statistiques de variations de gain de la station inconnue et il faut dès lors faire une hypothèse simplificatrice.

Dans la méthode de gain invariable dans le temps, la valeur effective du gain d'antenne en direction de l'horizon est fondée sur la variation maximale supposée du gain d'antenne en direction de l'horizon pour chaque azimut. Les valeurs de gain d'antenne en direction de l'horizon définies ci-dessous doivent être utilisées pour chaque azimut requis:

$$\begin{array}{llll}
 G_e = G_{max} & \text{pour} & (G_{max} - G_{min}) \leq 20 & \text{dB} \\
 G_e = G_{min} + 20 & \text{pour} & 20 \text{ dB} < (G_{max} - G_{min}) < 30 & \text{dB} \\
 G_e = G_{max} - 10 & \text{pour} & (G_{max} - G_{min}) \geq 30 & \text{dB}
 \end{array}$$

où:

$G_e$ : gain de l'antenne de la station terrienne inconnue en direction de l'horizon (dBi) pour un azimut donné, utiliser  $G_t$  ou  $G_r$  selon qu'il s'agit dans la formule d'une station terrienne d'émission ou de réception

$G_{max}, G_{min}$ : valeurs maximale et minimale du gain de l'antenne en direction de l'horizon (dBi), respectivement, pour l'azimut considéré.

Des caractéristiques système représentatives concernant la station terrienne inconnue sont nécessaires pour déterminer  $G_{min}$  et  $G_{max}$ .

## 5 Détermination des zones de coordination

Après avoir rassemblé les caractéristiques des stations terriennes connues et inconnues, on peut appliquer l'une des deux méthodes décrites aux § 5.1 et § 5.2 ci-dessous pour déterminer la zone de coordination de la station terrienne.

La méthode présentée au § 5.1 utilise certaines approximations pour éviter le besoin de convoluer les statistiques d'affaiblissement de transmission et de gain d'antenne. Ces approximations ont pour conséquence que l'on obtient des distances de coordination identiques ou plus petites par rapport à une convolution complète. La troncature du modèle d'affaiblissement de transmission à des valeurs inférieures à 100% introduit des erreurs faibles ou négligeables. L'avantage de cette méthode est que les algorithmes requis sont simples et que l'on n'a pas besoin de calculer des fonctions de distribution de l'affaiblissement de transmission. La simplicité de cette méthode permet de garantir la reproductibilité des résultats entre différentes mises en œuvre logicielles. Cette méthode est moins sensible aux erreurs provenant de la taille des fichiers utilisés pour les distributions de gain et d'affaiblissement.

La méthode présentée au § 5.2 est fondée sur un principe conceptuellement plus précis bien que plus difficile à mettre en œuvre. Sa précision potentielle peut ne pas être atteinte dans la pratique pour deux raisons principales. En premier lieu, le modèle de propagation actuel de la Recommandation UIT-R P.620 n'est valide que pour des pourcentages de temps inférieurs à 50% et supérieurs à 0,001%: il est dès lors nécessaire d'approximer certaines parties de la fonction de distribution de l'affaiblissement de transmission avec, comme conséquence, une perte de précision. En second lieu, la convolution discrète et la recherche subséquente de la distance de coordination requise exigent des valeurs finies pour la taille du pas d'itération et pour les critères de convergence. Comme dans le cas de la méthode du § 5.1, l'utilisation d'une taille de pas d'itération trop élevée donne lieu à une surestimation ou une sous-estimation de la distance de coordination requise. Toutefois, la plus grande complexité de la méthode présentée au § 5.2 peut favoriser l'utilisation d'une taille de pas d'itération et de critères de convergence élevés pour réduire les temps de traitement informatiques. Les valeurs plus faibles fournies au § 5.2 sont recommandées.

Des mises en œuvre pratiques ont montré que les deux méthodes donnaient des résultats comparables, la méthode présentée au § 5.1 produisant des distances de coordination légèrement inférieures.

### 5.1 Détermination de la distance de coordination à l'aide de la méthode 1

La distance de coordination associée à un modèle de propagation donné est la distance  $d$  (km) qui donne lieu à une valeur d'affaiblissement de transmission de référence égale à l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible défini au § 2.2.

En ce qui concerne la méthodologie appliquée ici, il faut disposer d'informations concernant les statistiques de gain d'antenne en direction de l'horizon variant en fonction du temps pour la station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG, mais il n'est pas nécessaire de déterminer la fonction de distribution de l'affaiblissement de transmission.

La solution relative à la formule (2) de l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible indiquée ci-dessous est fondée sur le cas d'une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG. Une procédure similaire peut être adoptée pour une station terrienne de réception non OSG dont le gain d'antenne  $G_r$  varie en fonction du temps.

La formule de l'affaiblissement de transmission de référence minimal admissible peut être réécrite 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 formules (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 (dBi) de l'antenne d'émission variant en fonction du temps en direction de l'horizon physique pour un azimut donné de la station terrienne brouilleuse qui fonctionne avec 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 de temps total,  $p$ , 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 couple de valeurs de  $p'$  et  $p_i$  qui satisfont  $p = p' p_i$ , il existe une famille de valeurs de  $L_b$  et  $G_t$  qui satisfont à la formule (12). En utilisant la fdc du gain d'antenne  $G_t$ , pour chaque azimut, on sélectionne une valeur  $G_{ti}$  telle que  $G_t$  dépasse  $G_{ti}$  pendant seulement  $p_i\%$  du temps. A chacune de ces étapes, les valeurs de  $G_{ti}$  et  $p_i$  sont fixées. La formule (12) peut dès lors 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  $G_{ti}$  en suivant les étapes de mise en œuvre décrites ci-dessous. A partir des valeurs de  $L_{bi}(p')$  et des distances associées, la distance correspondant à la valeur maximale est sélectionnée comme distance de coordination pour l'azimut spécifié.

Pour déterminer la distance de coordination, on suit les étapes décrites ci-dessous:

*Etape 1:* Calculer la fdc du gain d'antenne de la station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG en direction de l'horizon pour un azimut donné conformément à la description fournie au § 3. Cette fonction peut également être fournie par des administrations.

*Etape 2:* A partir de la fdc du gain d'antenne en direction de l'horizon, déterminer la valeur de gain minimale,  $G_{min}$ , et la valeur de gain maximale,  $G_{max}$ . Choisir un pas de gain de  $s$  dB et subdiviser cet intervalle de gain en un certain nombre de niveaux de gain  $\{G_{min}, G_{min} + s, G_{min} + 2s, \dots, G_{max}\}$ . Une valeur de  $s = 0,1$  à  $0,5$  dB est recommandée.

*Etape 3:* Déterminer le pourcentage de temps,  $p_i$ , associé à chaque 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  $p'$  pour l'affaiblissement de transmission minimal requis associé à chaque  $p_i$ :

$$p' = p/p_i \quad \text{si } p/p_i \leq Z\%$$

$$p' = Z\% \quad \text{si } p/p_i > Z\%$$

où la valeur recommandée pour  $Z$  est  $Z = 20\%$ , et  $p'$  est défini sur l'intervalle  $0 \leq p' \leq 100\%$ . Si  $p'$  est supérieur à  $100\%$ , il doit être ignoré.

Etape 5: Calculer l'affaiblissement minimal requis de 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 subissant le brouillage en utilisant un modèle de propagation approprié, par exemple le modèle de la Recommandation UIT-R P.620 associé au mode de propagation (1).

Etape 7: Répéter les Etapes 3 à 6 pour chaque niveau de gain  $G_{ti}$  compris dans l'intervalle  $G_{tmin}$  à  $G_{tmax}$ . A partir des 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 concerné.

Etape 8: Vérifier si la distance de coordination  $d$  (km) est inférieure à la distance de coordination minimale,  $d_{min}$ , ou supérieure à la distance de coordination maximale,  $d_{max}$ :

Si  $d < d_{min}$  prendre  $d = d_{min}$

Si  $d > d_{max}$  prendre  $d = d_{max}$

où  $d_{min}$  et  $d_{max}$  sont telles que définies 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 pas de 5°.

Un exemple de calcul de contour de coordination à l'aide de cette méthodologie se trouve dans l'Appendice 3 de l'Annexe 1.

## 5.2 Détermination de la distance de coordination à l'aide de la méthode 2

### 5.2.1 Introduction

Dans cette méthode, le contour de coordination est déterminé à l'aide de calculs qui appliquent 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 convoluant leurs fdp.

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 terrienne située en dehors de celui-ci ne provoque ou ne subit un brouillage inacceptable en rapport avec cette station terrienne.

Pour cette méthode, la formule (2) est remplacée par la condition suivante:

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

où:

$(L_c - G_\alpha)(p)$ : 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 maximale (dBW) dans la largeur de bande de référence à l'entrée de l'antenne d'une station potentiellement brouilleuse

$G_b$ : gain d'antenne de la station terrienne inconnue

$P_r(p)$ : 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  $L_c - G_\alpha(p)$  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:

- que le modèle donne un affaiblissement non dépassé pendant des pourcentages de temps dans la fourchette de 0,001% à 50%; et

- b) que le modèle donne un affaiblissement sous la forme d'une fonction augmentant régulièrement en fonction de la distance.

Si cette méthode 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% (voir le § 5.2.2.3). 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:

## 5.2.2 Méthodologie de calcul

### 5.2.2.1 Nomenclature

La nomenclature suivante est utilisée dans cette description:

- $X$ : ensemble ou matrice de valeurs
- $X_i$ : i<sup>ème</sup> valeur de l'ensemble  $X$
- $N_X$ : nombre de valeurs de  $X$
- $q_G(\mathbf{G})$ : fdp 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  $G_i$
- $q_L(\mathbf{L})$ : fdp 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  $L_i$
- $r_L(\mathbf{L})$ : fdc 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  $L_i$
- $q_C(\mathbf{C})$ : fdp 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  $C_i$
- $r_C(\mathbf{C})$ : fdc 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 fdp 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.

### 5.2.2.2 Méthodologie de calcul: points essentiels

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

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

$$\mathbf{d}_i = \{d_{min}, d_{min} + d_s, d_{min} + 2d_s, \dots\} \quad \text{km}$$

*Etape 2:* En commençant par la distance  $d_1$ , procéder comme suit:

*Etape 2.1:* déterminer la distribution de probabilité de l'affaiblissement de transmission de référence  $q_L(\mathbf{L})$  conformément à la description donnée dans le § 5.2.2.3;

*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 § 5.2.2.4;

*Etape 2.3:* la valeur de  $(L_c - G_\alpha)(p)$  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 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 Etapes 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 l'erreur soit inférieure à 0,5 km.

### 5.2.2.3 Détermination de la distribution de probabilités de l'affaiblissement de transmission de référence

Une fdp 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 1:

TABEAU 1

$L_i$	$r_L(L_i)$
$L_{min}$	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 fdp de l'affaiblissement de transmission de référence à partir 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

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

### 5.2.2.4 Méthode de convolution des distributions de probabilités

On procède comme suit pour déterminer la fdp, puis la fdc de la combinaison gain d'antenne en direction de l'horizon et affaiblissement de transmission 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 de  $L$  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  $C_i$ :

$$q_C(C_i) = \sum_{n=1}^u q_L(L_n) \cdot q_G(L_n - C_i)$$

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:

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

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

## APPENDICE 1

### À L'ANNEXE 1

## Exemples de distribution de gain d'antenne

### 1 Généralités

Le présent Appendice contient des exemples de détermination des statistiques de gain d'une antenne d'émission d'une station terrienne fonctionnant avec des satellites non géostationnaires. Tous les exemples présentés ici appliquent la formule suivante pour le diagramme d'antenne de la station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG:

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

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

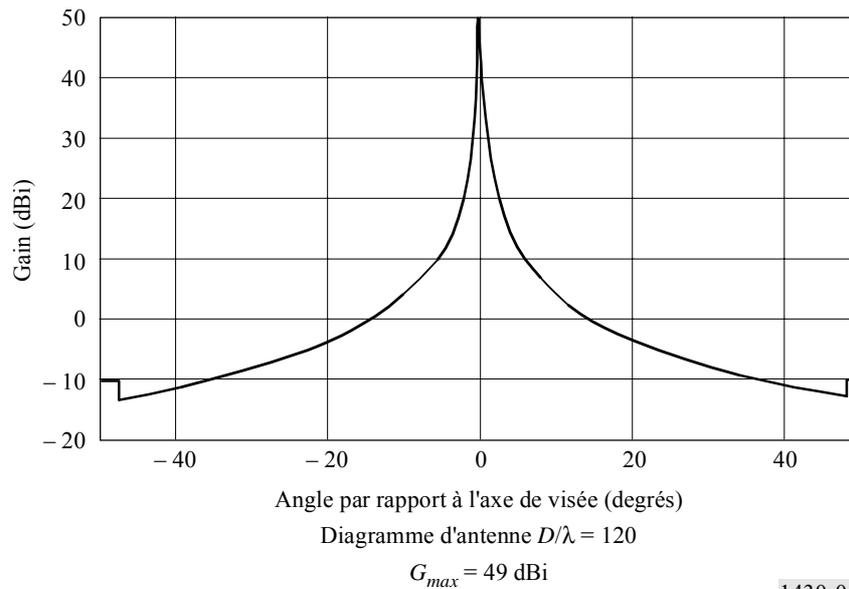
$\lambda$ : longueur d'onde exprimée dans la même unité que  $D$

$G_{max}$ : gain maximum de l'antenne (dBi)

$\varphi$ : angle par rapport à l'axe de visée (degrés).

Le diagramme d'antenne est illustré à la Fig. 1 pour un rapport diamètre d'antenne sur longueur d'onde,  $D/\lambda$ , de 120 et un gain maximum,  $G_{max}$ , de 49 dBi (rendement d'environ 55%). Le faisceau a une ouverture d'environ  $0,5^\circ$ .

FIGURE 1  
Diagramme d'antenne utilisé dans les exemples



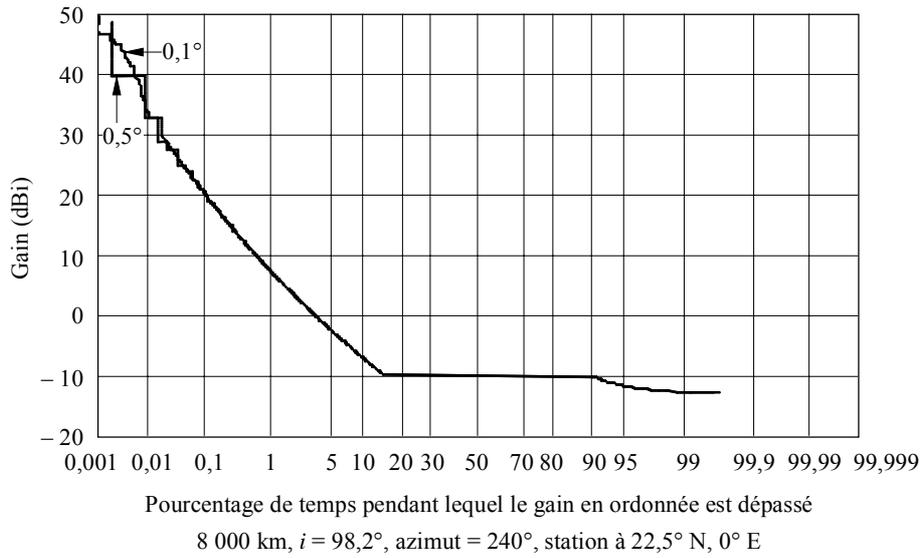
Les exemples présentés dans cet Appendice concernent une orbite circulaire et utilisent une Terre sphérique pour le calcul de l'azimut et de l'angle d'élévation de l'axe de visée de la station terrienne.

*Exemple 1:* Cet exemple considère une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non OSG à ( $22,5^\circ$  N,  $0^\circ$  E), avec un satellite non géostationnaire sur une orbite circulaire avec un demi-grand axe de 8000 km et une inclinaison,  $i$ , de  $98,2^\circ$ .

La Fig. 2 représente des courbes de distribution typiques de dépassement de gain en direction de l'horizon avec des résolutions de  $0,1$  et  $0,5^\circ$  en azimut et en angle d'élévation. Les deux courbes sont prises à un azimut de  $240^\circ$ . Sur l'illustration, la courbe à  $0,5^\circ$  est très bruitée pour les pourcentages de temps faibles et, dès lors, un pas de  $0,5^\circ$  représente une variation significative du gain en particulier à proximité du faisceau principal. Une résolution plus fine produit une courbe plus régulière comme celle générée avec une résolution de  $0,1^\circ$  en azimut et en angle d'élévation.

FIGURE 2

Distribution typique de dépassement de gain en direction de l'horizon avec des résolutions de 0,1° et 0,5° en azimut et en angle d'élévation

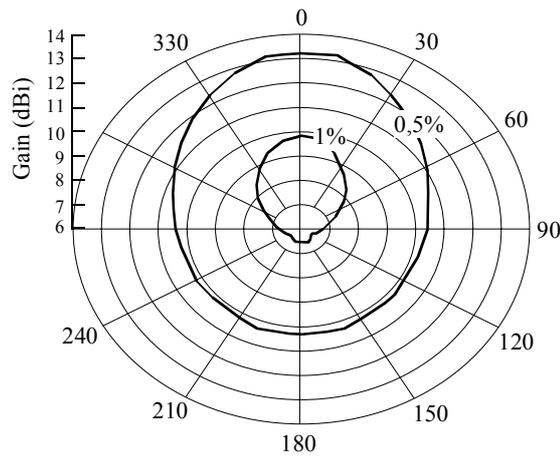


1430-02

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

FIGURE 3

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

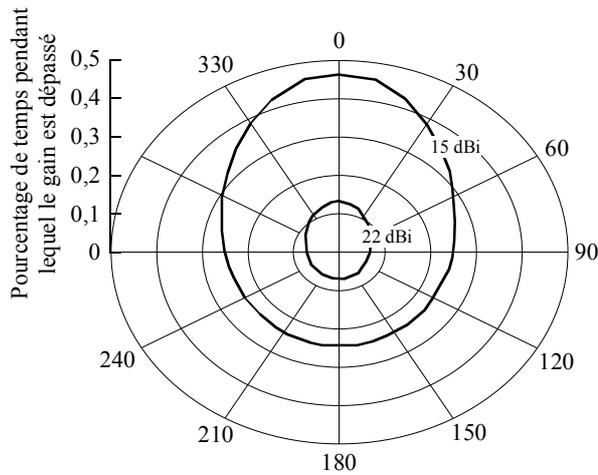


1430-03

Dans la Fig. 4, le gain en direction de l'horizon est fixe et le pourcentage de temps pendant lequel le gain est dépassé est représenté en fonction de l'azimut. Les contours sont représentés pour des gains de 15 dBi et 22 dBi générés avec une résolution de 0,5°.

FIGURE 4

Contours indiquant le pourcentage de temps pendant lequel une valeur de gain donnée est dépassée



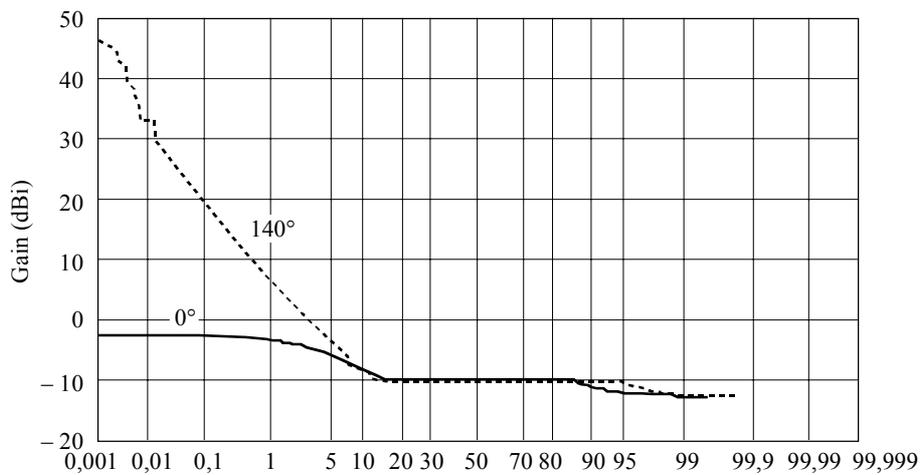
1430-04

Exemple 2: Cet exemple concerne la même station terrestre fonctionnant avec une station spatiale non OSG et un satellite non géostationnaire que celle décrite dans l'exemple 1 mais cette fois l'orbite du satellite a une inclinaison,  $i$ , de  $45^\circ$ .

La Fig. 5 illustre deux distributions de dépassement de gain pour des azimuts de  $0^\circ$  et  $140^\circ$ . La différence de gain pour un pourcentage de temps de l'ordre de 1% est significative. La Fig. 6 représente le gain qui est dépassé pendant 0,5% et 1% du temps en fonction de l'azimut. Le creux pour l'azimut  $0^\circ$  est dû au fait que le satellite n'est jamais vu dans cette direction.

FIGURE 5

Distributions de dépassement de gain pour deux azimuts de  $0^\circ$  et  $140^\circ$

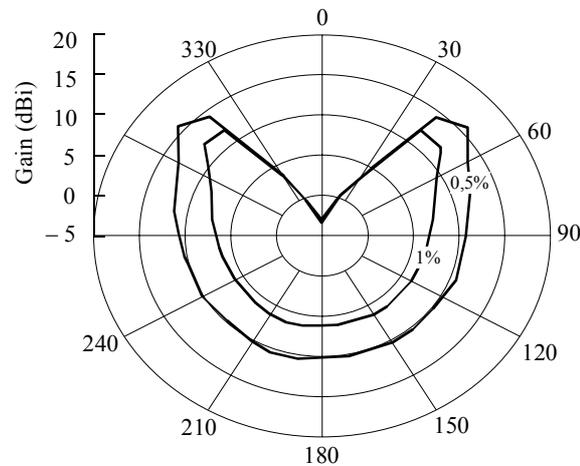


8 000 km,  $i = 45^\circ$ , station à  $22,5^\circ$  N

1430-05

FIGURE 6

Contours de gain de l'exemple 2 avec une résolution de 0,1°



1430-06

## APPENDICE 2\*

## À L'ANNEXE 1

**Gain d'antenne d'une station terrienne OSG en direction de l'horizon****1 Généralités**

La composante du gain de l'antenne d'une station terrienne dans la direction de son horizon physique environnant est fonction de l'angle de décalage entre l'axe du faisceau principal et la direction de l'horizon considéré. Lorsque la station terrienne doit émettre vers plusieurs stations spatiales positionnées le long de l'orbite géostationnaire, ou vers une ou plusieurs stations spatiales sur orbites légèrement inclinées, on doit envisager toutes les directions de pointage possibles de l'axe du faisceau principal de l'antenne. La coordination des stations terriennes exige que l'on connaisse, pour chaque azimut la valeur minimale possible de l'angle de décalage  $\varphi(\alpha)$  qui se présentera pendant le fonctionnement de la station spatiale.

Lorsqu'un satellite géostationnaire maintient son emplacement près de sa position nominale en orbite, il existe une relation univoque entre l'angle d'élévation  $\varepsilon$  et l'azimut  $\alpha$  des satellites géostationnaires vus d'une station terrienne qui se trouve à la latitude  $\xi_g$ . La Fig. 7 présente, dans un diagramme rectangulaire élévation/azimut, les portions d'arc possibles de l'orbite des satellites géostationnaires. Chaque arc correspond à une série de latitudes de station terrienne et les arcs d'intersection correspondent à des points sur l'orbite avec une différence fixe en longitude est ou ouest de la station terrienne. La Fig. 7 montre également une portion du profil d'horizon  $\varepsilon(\alpha)$ . L'angle de décalage de faisceau  $\varphi(\alpha)$  entre le profil d'horizon à un azimut de 190° et une station spatiale située à 28° O d'une station terrienne à 43° de latitude N est indiqué par l'arc de grand cercle représenté en tirets sur la Fig. 7.

Lors du relâchement du maintien en position nord-sud d'un satellite géostationnaire, l'orbite de ce satellite prend une inclinaison qui s'accroît progressivement avec le temps. Vue de la Terre, la position du satellite correspond au tracé d'un chiffre huit pendant chaque période de 24 h. La Fig. 8 montre les trajectoires d'une série de satellites ayant chacun une inclinaison de 10° et espacés de 3° le long de l'orbite géostationnaire de 28° O à 44° E d'une station terrienne située à 43° de longitude N. Lors de la détermination de la zone de coordination, seule l'enveloppe de délimitation de ces trajectoires doit être prise en considération. On peut utiliser une simple enveloppe de délimitation fondée sur les élongations maximales en latitude et en longitude des projections à la surface de la terre de toutes les positions possibles des satellites le long de l'arc, comme le montre la Fig. 8. Cette figure montre également, par une courbe en tirets, l'arc du grand cercle correspondant à l'angle minimal de décalage du faisceau  $\varphi(\alpha)$  entre cette enveloppe et le profil d'horizon à un azimut de 110°.

\* Cet Appendice est repris de l'Appendice 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R IS.847.

## 2 Détermination de $\varphi(\alpha)$

Pour la détermination de l'angle de décalage de faisceau  $\varphi(\alpha)$ , on peut distinguer quatre cas. Ceux-ci dépendent de la question de savoir si une station spatiale unique ou une portion de l'orbite géostationnaire doit être prise en compte et si la station terrienne est appelée à opérer avec des stations spatiales sur des orbites légèrement inclinées. Dans chacun de ces cas, on peut appliquer les équations suivantes:

$$\psi_s(i, \delta) = \arccos(\sin \xi_g \sin i + \cos \xi_g \cos i \cos \delta) \quad (14)$$

$$\varepsilon_s(i, \delta) = \arcsin \left( \frac{K \cos \psi_s(i, \delta) - 1}{(1 + K^2 - 2K \cos \psi_s(i, \delta))^{1/2}} \right) \quad (15)$$

$$\alpha'_s(i, \delta) = \arccos \left[ \frac{\sin i - \cos \psi_s \sin \xi_g}{\sin \psi_s \cos \xi_g} \right] \quad (16)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{pour les stations spatiales situées à l'est de la station terrienne } (\delta \geq 0) \quad (17)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = 360^\circ - \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{pour les stations spatiales situées à l'ouest de la station terrienne } (\delta \leq 0) \quad (18)$$

$$\varphi(\alpha, i, \delta) = \arccos [\cos \varepsilon(\alpha) \cos \varepsilon_s(i, \delta) \cos(\alpha - \alpha_s(i, \delta)) + \sin \varepsilon(\alpha) \sin \varepsilon_s(i, \delta)] \quad (19)$$

où:

- $\xi_g$ : latitude de la station terrienne (positive pour le nord, négative pour le sud)
- $\delta$ : différence en longitude de la station terrienne à la station spatiale
- $i$ : latitude du point subsatellite (positive pour le nord et négative pour le sud)
- $\psi_s(i, \delta)$ : arc de grand cercle entre la station terrienne et le point subsatellite
- $\alpha_s(i, \delta)$ : azimut de la station spatiale vue de la station terrienne
- $\varepsilon_s(i, \delta)$ : angle d'élévation de la station spatiale vue de la station terrienne
- $\varphi(\alpha, i, \delta)$ : angle de décalage entre le faisceau principal et la direction de l'horizon, correspondant à l'angle pertinent  $\alpha$  lorsque le faisceau principal est dirigé vers une station spatiale dont le point subsatellite correspond à la latitude  $i$  et à la différence en longitude  $\delta$
- $\alpha$ : azimut de la direction considérée
- $\varepsilon(\alpha)$ : angle d'élévation de l'horizon pour l'azimut  $\alpha$  considéré
- $\varphi(\alpha)$ : angle à utiliser pour le calcul du gain vers l'horizon pour l'azimut  $\alpha$  considéré
- $K$ : rapport du rayon de l'orbite au rayon de la Terre, égal par hypothèse à 6,62.

Tous les arcs indiqués ci-dessus sont exprimés en degrés.

Cas 1: Station spatiale unique sur une orbite non inclinée.

Pour une station spatiale unique opérant sur orbite non inclinée et présentant une différence en longitude  $\delta_0$ , on peut appliquer directement les équations (14) à (19) en prenant  $i = 0$  pour déterminer pour chaque azimut  $\alpha$  l'angle  $\varphi(\alpha)$ . Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\alpha, 0, \delta_0) \quad (20)$$

où  $\delta_0$  est la différence en longitude de la station terrienne à la station spatiale.

Cas 2: Stations spatiales sur une orbite non inclinée dans une portion de l'arc géostationnaire.

Pour les stations spatiales opérant sur une orbite non inclinée dans une portion de l'arc géostationnaire, on peut appliquer les équations (14) à (19) en prenant  $i = 0$  pour déterminer la valeur minimale de l'angle de décalage du faisceau. Pour chaque azimut  $\alpha$ , l'angle  $\varphi(\alpha)$  sera la valeur minimale de  $\varphi(\alpha, 0, \delta)$  pour toute position le long de l'arc. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min \varphi(\alpha, 0, \delta_0) \quad (21)$$

$$\delta_w \leq \delta \leq \delta_e$$

où:

$\delta_e$ : différence en longitude à l'extrémité est de la portion opérationnelle de l'arc d'orbite

$\delta_w$ : différence en longitude à l'extrémité ouest de la portion opérationnelle de l'arc d'orbite.

Cas 3: Stations spatiales sur une orbite inclinée dans une portion de l'arc géostationnaire.

Pour les stations spatiales opérant sur des orbites légèrement inclinées dans une portion de l'arc géostationnaire présentant une différence nominale en longitude comprise entre  $\delta_e$  et  $\delta_w$ , il faut prendre en compte l'inclinaison maximale de l'orbite pendant leur vie utile,  $i_s$ . On peut appliquer les équations (14) à (19) pour obtenir la valeur minimale de l'angle de décalage par rapport à chacun des quatre arcs dans l'espace azimut/élévation qui délimite aussi bien en azimut qu'en élévation la trajectoire de la station spatiale. Les arcs de délimitation correspondent aux latitudes maximales et minimales des points subsatellites et aux valeurs extrêmes de la différence en longitude entre station terrienne et station spatiale lorsque la station spatiale fonctionne à son maximum d'inclinaison. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min \varphi_n(\alpha) \quad (22)$$

$$1 \leq n \leq 4$$

avec:

$$\varphi_1(\alpha) = \min \varphi(\alpha, -i_s, \delta) \quad (23)$$

$$\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s$$

$$\varphi_2(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i_s, \delta) \quad (24)$$

$$\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s$$

$$\varphi_3(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i, \delta_w - \delta_s) \quad (25)$$

$$-i_s \leq i \leq i_s$$

$$\varphi_4(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i, \delta_e + \delta_s) \quad (26)$$

$$-i_s \leq i \leq i_s$$

$$\delta_s = (i_s / 15)^2 \quad (27)$$

où:

$i_s$ : angle d'inclinaison opérationnel maximal de l'orbite des satellites

$\delta_s$ : variation maximale en longitude par rapport à la valeur nominale de la projection sur la surface de la Terre d'un satellite sur une orbite d'inclinaison  $i_s$ .

Cas 4: Station spatiale unique sur orbite inclinée.

Pour une station spatiale unique opérant avec une différence nominale en longitude de  $\delta_0$ , sur une orbite d'inclinaison maximale  $i_s$  pendant sa durée de vie, la valeur de  $\varphi(\alpha)$  se détermine de la même façon que dans le Cas 3, sauf que  $\delta_e = \delta_w = \delta_0$ .

Noter que l'on peut déterminer les angles de décalage minimaux dans les équations (21), (23), (24), (25) et (26) en progressant par incréments le long d'un contour de délimitation. Le pas de progression de  $i$  ou  $\delta$  devrait se situer entre  $0,5^\circ$  et  $1,0^\circ$  et les points extrêmes des intervalles respectifs devraient être inclus dans le calcul.

Noter que le profil d'horizon  $\varepsilon(\alpha)$  utilisé dans le calcul de  $\varphi(\alpha)$  doit être spécifié pour des incréments en azimut  $\alpha$  qui ne devraient pas dépasser  $5^\circ$ .

### 3 Détermination du gain d'antenne

On peut utiliser la relation  $\varphi(\alpha)$  pour obtenir le gain d'antenne dans la direction de l'horizon  $G$  (dB), en fonction de l'azimut  $\alpha$ , à l'aide du diagramme de rayonnement effectif de l'antenne de la station terrienne ou par application d'une formule donnant une bonne approximation. Par exemple, dans les cas où le rapport entre le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde est supérieur ou égal à 35, il convient d'utiliser la formule (28):

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log(\varphi) & \text{pour } \varphi_r \leq \varphi < 36^\circ \\ -10 & \text{pour } 36^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (28)$$

où:

$D$ : diamètre de l'antenne

$\lambda$ : longueur d'onde exprimée dans la même unité que  $D$

$G_1$ : gain du premier lobe latéral

$$G_1 = \begin{cases} -1 + 15 \log(D/\lambda) & \text{dBi pour } D/\lambda \geq 100 \\ -21 + 25 \log(D/\lambda) & \text{dBi pour } D/\lambda < 100 \end{cases}$$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{degrés}$$

$$\varphi_r = \begin{cases} 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} & \text{degrés pour } D/\lambda \geq 100 \\ 100 (\lambda/D) & \text{degrés pour } D/\lambda < 100 \end{cases}$$

Les diagrammes ci-dessus pourront être modifiés, le cas échéant, pour obtenir une meilleure représentation du diagramme de rayonnement réel.

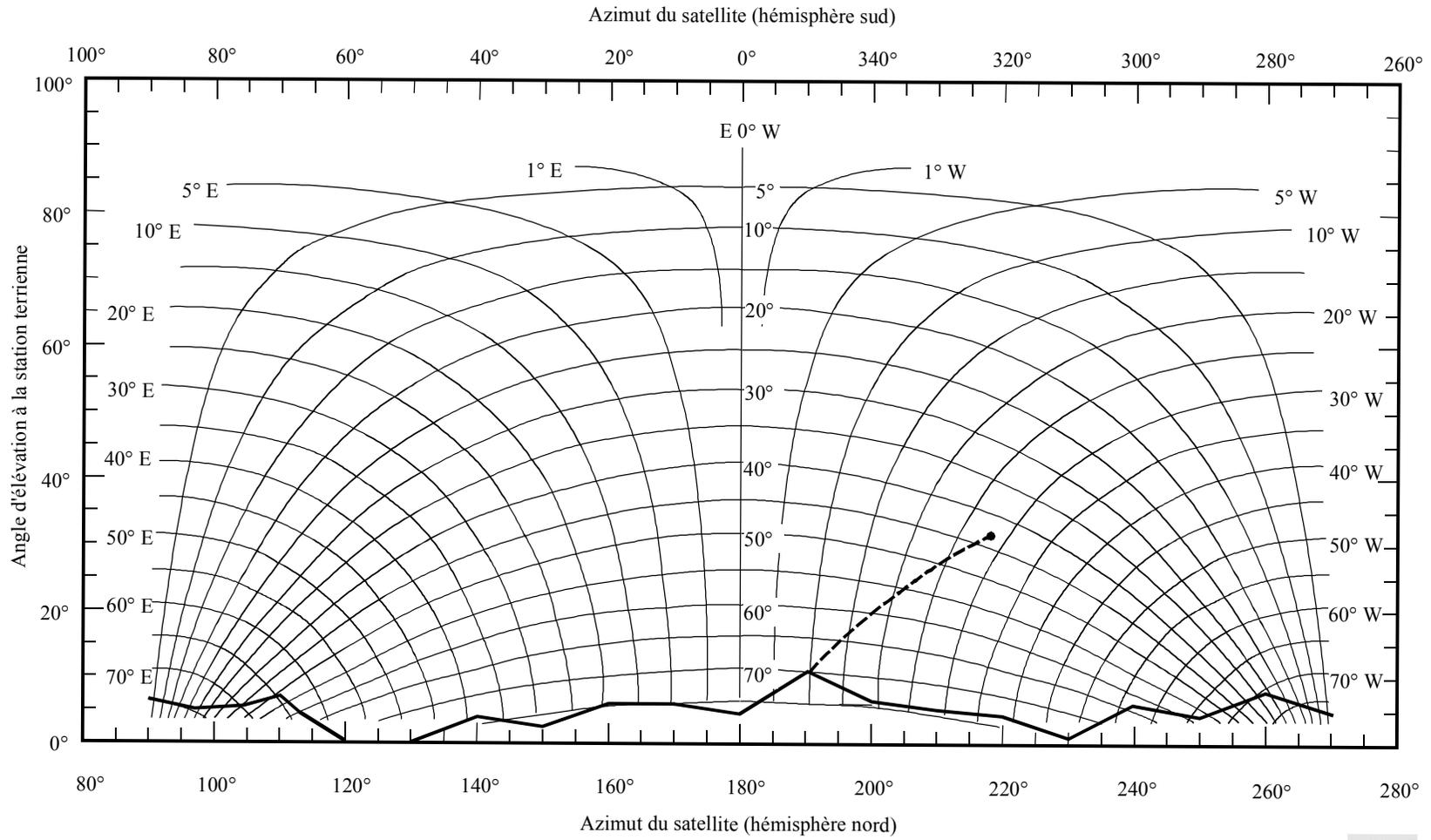
Lorsque le rapport  $D/\lambda$  n'est pas donné, il peut être estimé à partir de l'expression:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7,7$$

où  $G_{max}$  est le gain de crête du lobe principal de l'antenne (dB).

FIGURE 7

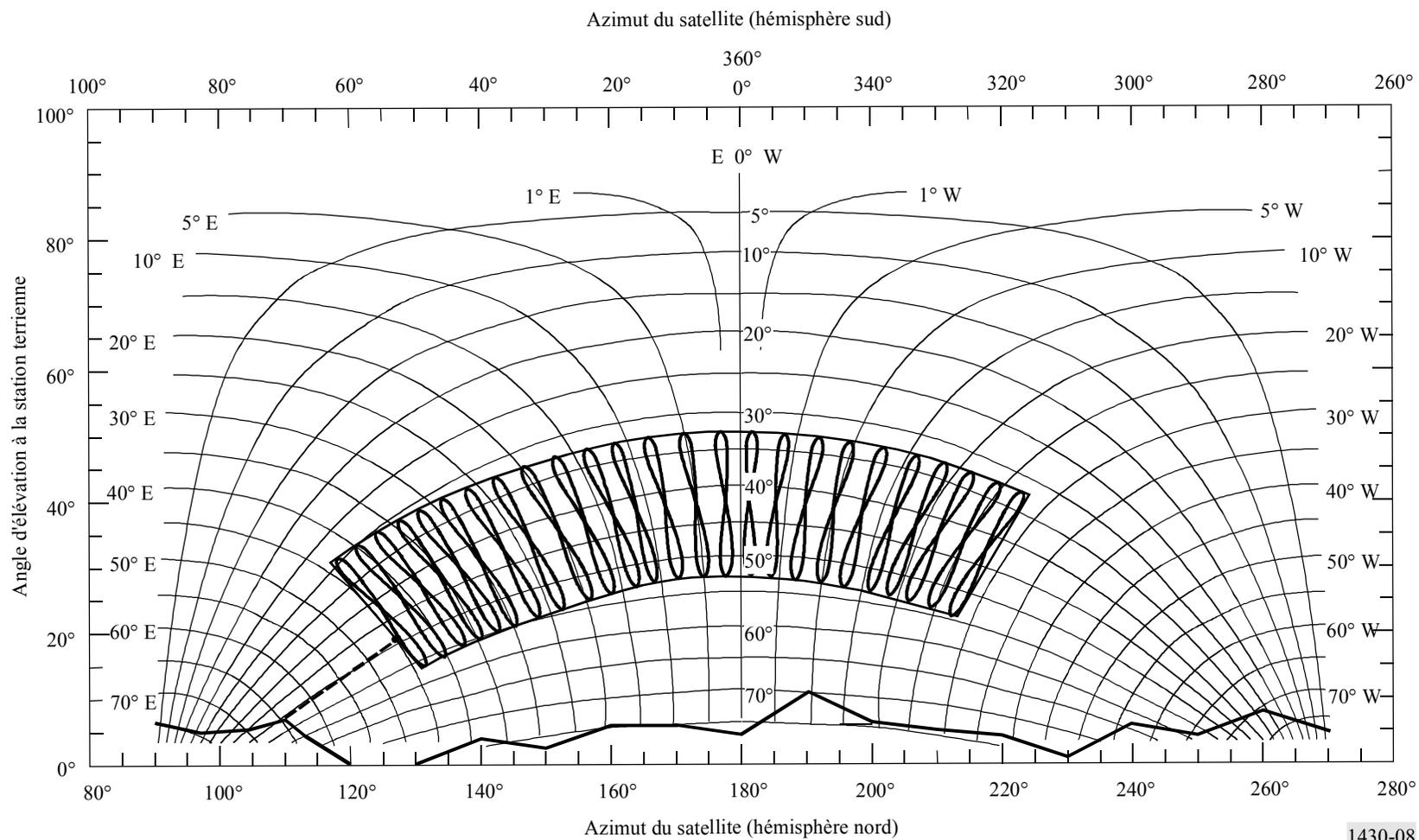
Arcs de position des satellites géostationnaires par rapport à l'horizon et arc vu à partir de l'horizon dans un azimut de 190° vers un satellite situé à 28° O d'une station terrienne située à 43° de latitude N



1430-07

FIGURE 8

**Arcs de position des satellites géostationnaires par rapport à l'horizon et arc vu à partir de l'horizon dans un azimut de 110° vers l'enveloppe des satellites avec une inclinaison de 10° sur l'arc de l'orbite géostationnaire, entre 28° O et 44° E d'une station terrienne située à 43° de latitude N**



## APPENDICE 3

## À L'ANNEXE 1

**Distances de coordination pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG brouillant une station terrienne OSG de réception, établies à l'aide de la méthode présentée au § 5.1**

## 1 Généralités

Cet Appendice présente un exemple de détermination de la zone de coordination à l'aide de la méthode présentée au § 5.1 entre une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG brouillant une station terrienne OSG de réception dans la bande de fréquences 6 700-7 075 MHz.

## 2 Paramètres systèmes

Les paramètres systèmes de la station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG et de la station terrienne OSG de réception sont indiqués dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

**Paramètres de la station terrienne d'émission non OSG et de l'orbite de satellite utilisés pour déterminer la distance de coordination avec une station terrienne OSG de réception**

<i>Paramètres d'orbite des satellites non géostationnaires:</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 minimum de fonctionnement (degrés)	10
Diagramme de gain de l'antenne	Rec. UIT-R S.465
<i>Station d'émission non OSG:</i>	
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	50
p.i.r.e./porteuse (dBW)	56,5
Largeur de la bande d'émission (kHz)	1 230
<i>Station terrienne de réception OSG:</i>	
Modulation	Numérique
Pourcentage de temps $p\%$	0,002
$M_s$ (dB)	2
$N_L$ (dB)	1
$W$ (dB)	0
Gain de l'antenne de réception (dB)	42
Largeur de la bande de référence (MHz)	1
$T_e$ (K)	75
$P_r(p)$ (dBW)	-151,2

## 3 Distance de coordination

La Fig. 9 représente la fdc complémentaire du gain d'antenne de la station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG en direction de l'horizon pour différentes valeurs d'azimut. Cette fonction donne le pourcentage de temps pendant lequel une valeur de gain donnée est dépassée. La Fig. 10 représente un exemple de gains d'antennes de réception et d'émission en direction de l'horizon calculés pour des azimuts communs conformément à la description fournie au § 3.

FIGURE 9

fdc complémentaire de gain d'antenne de station non-OSG en direction de l'horizon pour des azimuts de 0°, 60° et 180°

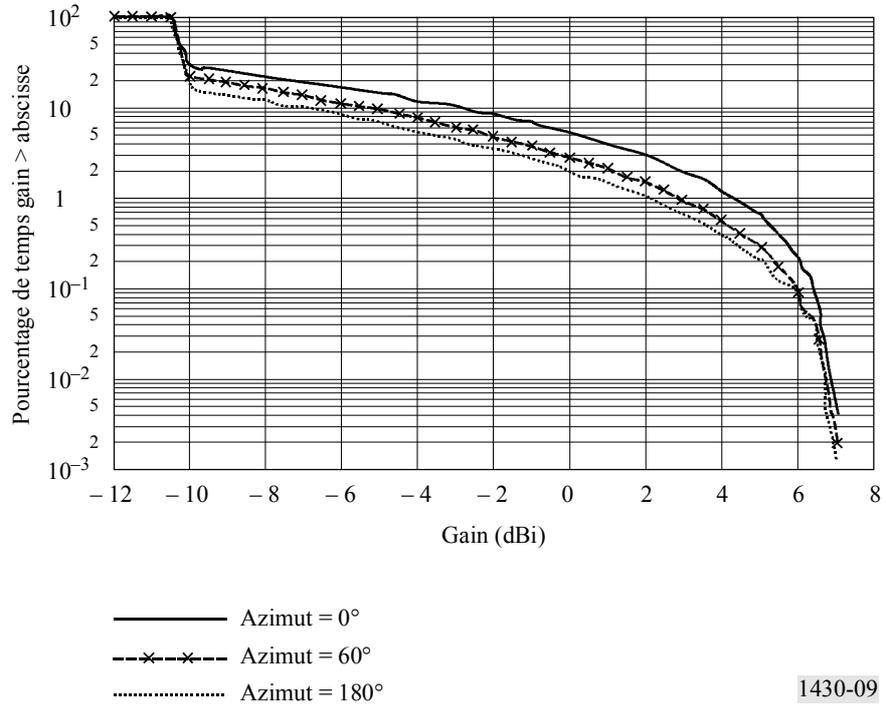
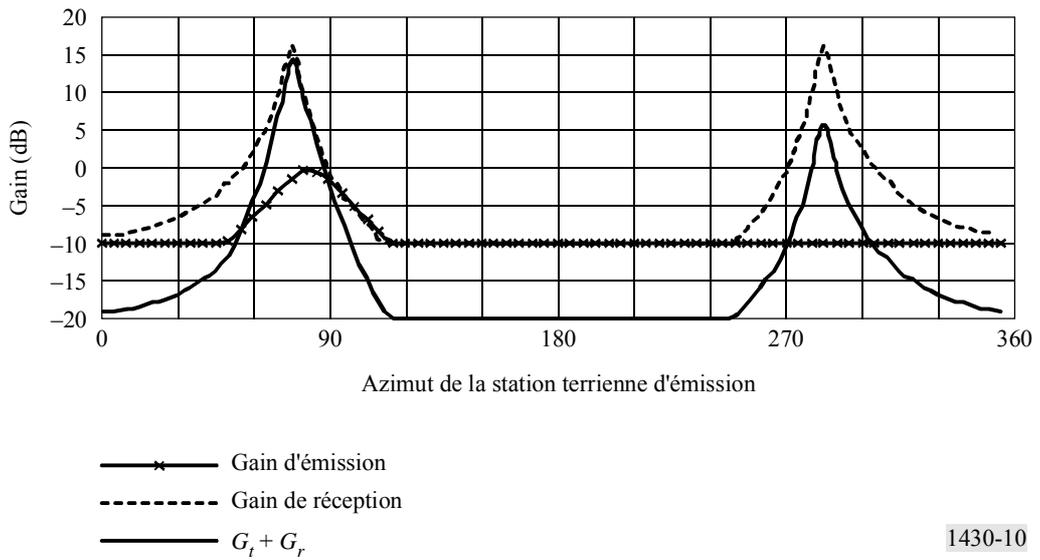


FIGURE 10

Gain d'antenne composite en direction de l'horizon  $G_t + G_r$  de la station terrestre d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG et de la station terrestre OSG de réception



Le Tableau 3 illustre un exemple de détermination de la distance de coordination entre la station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG et la station terrienne OSG de réception indiquées au Tableau 2. Les distances estimées sont données pour un pas de progression de 0,5 dB sur tout l'intervalle de gain d'antenne en direction de l'horizon et pour un angle d'élévation de l'horizon de 0°. Le calcul des distances s'appuie sur la méthodologie décrite au § 5 et sur le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P.620 associé au mode de propagation 1. La valeur la plus élevée (marquée en gras) de la colonne  $d_i$  (km) du Tableau 2 est sélectionnée comme distance de coordination pour l'azimut donné.

TABLEAU 3

**Distance de coordination d'une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG brouillant une station terrienne OSG de réception (angle d'élévation minimum de fonctionnement = 10° et angle d'élévation au-dessus de l'horizon = 0°)**

Niveau de gain, $i$	Gain d'antenne d'émission $G_{fi}$ (dBi)	fdp de gain	fdc de gain	$p' = p/p_i$	Affaiblissement requis (dB)	Distance de coordination, $d_i$ (km)
1	-10,5	0,709370	1,000000	0,000020	138,3	104,43
2	-10,0	0,016990	0,290630	0,000069	138,8	104,43
3	-9,5	0,016410	0,273640	0,000073	139,3	104,43
4	-9,0	0,015890	0,257230	0,000078	139,8	104,43
5	-8,5	0,015360	0,241340	0,000083	140,3	104,43
6	-8,0	0,014800	0,225980	0,000089	140,8	104,43
7	-7,5	0,014190	0,211180	0,000095	141,3	104,43
8	-7,0	0,013670	0,196990	0,000102	141,8	104,43
9	-6,5	0,013100	0,183320	0,000109	142,3	104,43
10	-6,0	0,012570	0,170220	0,000118	142,8	104,43
11	-5,5	0,012040	0,157650	0,000127	143,3	104,43
12	-5,0	0,011530	0,145610	0,000137	143,8	104,43
13	-4,5	0,011030	0,134080	0,000149	144,3	104,43
14	-4,0	0,010510	0,123050	0,000163	144,8	104,43
15	-3,5	0,009990	0,112540	0,000178	145,3	104,43
16	-3,0	0,009480	0,102550	0,000195	145,8	104,43
17	-2,5	0,008970	0,093070	0,000215	146,3	104,43
18	-2,0	0,008500	0,084100	0,000238	146,8	105,03
19	-1,5	0,007950	0,075600	0,000265	147,3	107,43
20	-1,0	0,007460	0,067650	0,000296	147,8	109,73
21	-0,5	0,007040	0,060190	0,000332	148,3	111,83
22	0,0	0,006540	0,053150	0,000376	148,8	113,73
23	0,5	0,006190	0,046610	0,000429	149,3	115,33
24	1,0	0,005640	0,040420	0,000495	149,8	116,63
25	1,5	0,005330	0,034780	0,000575	150,3	117,63
26	2,0	0,004850	0,029450	0,000679	150,8	118,23
27	2,5	0,004450	0,024600	0,000813	151,3	<b>118,33</b>
28	3,0	0,004060	0,020150	0,000993	151,8	117,83
29	3,5	0,003610	0,016090	0,001243	152,3	116,43
30	4,0	0,003220	0,012480	0,001603	152,8	114,03
31	4,5	0,002830	0,009260	0,002160	153,3	110,13
32	5,0	0,002370	0,006430	0,003110	153,8	104,43
33	5,5	0,001940	0,004060	0,004926	154,3	104,43
34	6,0	0,001440	0,002120	0,009434	154,8	104,43
35	6,5	0,000640	0,000680	0,029412	155,3	104,43
36	7,0	0,000040	0,000040	0,200000	155,8	104,43

Le Tableau 4 présente les distances estimées pour des azimuts compris entre 0° et 180°. Ces distances estimées sont données pour un pas de progression de 0,5 dB sur la totalité de l'intervalle de gain d'antenne en direction de l'horizon et pour un angle d'élévation de l'horizon de 0°. La distance de coordination minimale dans cet exemple est de 104,43 km. La valeur de distance la plus élevée (marquée en gras) représente la distance de coordination à l'azimut spécifié.

TABLEAU 4

## Distance de coordination pour différents azimuts

Gain d'antenne en direction de l'horizon pour une station terrienne d'émission non OSG (dBi)	Distance de coordination $d_i$ (km) à l'azimut (degrés)						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
-10,5	104,43	104,43	155,63	131,93	104,43	104,43	104,43
-10,0	104,43	104,43	142,03	117,83	104,43	104,43	104,43
-9,5	104,43	104,43	145,13	120,93	104,43	104,43	104,43
-9,0	104,43	104,43	148,13	124,03	104,43	104,43	104,43
-8,5	104,43	104,43	151,03	127,03	104,43	104,43	104,43
-8,0	104,43	104,43	153,83	129,83	104,43	104,43	104,43
-7,5	104,43	104,43	156,63	132,63	104,43	104,43	104,43
-7,0	104,43	104,43	159,23	135,43	104,43	104,43	104,43
-6,5	104,43	104,43	161,83	138,03	104,43	104,43	104,43
-6,0	104,43	104,43	164,23	140,53	104,43	104,43	104,43
-5,5	104,43	104,43	166,53	142,83	104,43	104,43	104,43
-5,0	104,43	104,43	168,73	145,13	104,43	104,43	104,43
-4,5	104,43	106,73	170,83	147,23	104,43	104,43	104,43
-4,0	104,43	109,43	172,73	149,23	104,43	104,43	104,43
-3,5	104,43	112,03	174,53	151,13	104,43	104,43	104,43
-3,0	104,43	114,53	176,13	152,73	104,43	104,43	104,43
-2,5	104,43	116,83	177,63	154,23	104,43	104,43	104,43
-2,0	105,03	119,03	178,83	155,53	104,43	104,43	104,43
-1,5	107,43	121,03	179,83	156,63	104,43	104,43	104,43
-1,0	109,73	122,83	180,63	157,43	104,43	104,43	104,43
-0,5	111,83	124,43	181,23	158,03	104,43	104,43	104,43
0,0	113,73	125,73	<b>181,43</b>	<b>158,23</b>	<b>104,43</b>	<b>104,43</b>	<b>104,43</b>
0,5	115,33	126,83	181,33	158,13	104,43	104,43	104,43
1,0	116,63	127,53	180,73	157,53	104,43	104,43	104,43
1,5	117,63	<b>127,83</b>	179,73	156,53	104,43	104,43	104,43
2,0	118,23	127,73	178,13	154,83	104,43	104,43	104,43
2,5	<b>118,33</b>	127,03	175,83	152,53	104,43	104,43	104,43
3,0	117,83	125,53	172,53	149,23	104,43	104,43	104,43
3,5	116,43	123,13	168,13	144,73	104,43	104,43	104,43
4,0	114,03	119,53	162,13	138,63	104,43	104,43	104,43
4,5	110,13	114,13	153,93	130,33	104,43	104,43	104,43
5,0	104,43	106,13	142,03	118,33	104,43	104,43	104,43
5,5	104,43	104,43	124,43	104,43	104,43	104,43	104,43
6,0	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43
6,5	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43
7,0	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43	104,43

Le Tableau 5 présente des valeurs de distance de coordination pour des azimuts compris entre 0° et 360°. La Fig. 11 représente le tracé du contour de coordination associé aux distances données au Tableau 5.

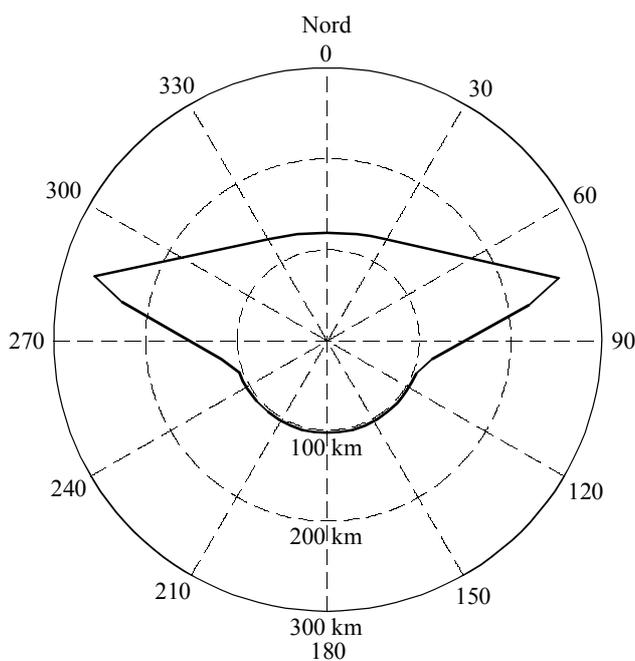
TABLEAU 5

**Distances de coordination pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OGS brouillant une station terrienne de réception OGS**

Azimut (degrés)	Distance de coordination (km)	Azimut (degrés)	Distance de coordination (km)
0	118,33	180	104,43
10	119,03	190	104,43
20	121,93	200	104,43
30	127,83	210	104,43
40	138,13	220	104,43
50	154,73	230	104,43
60	181,43	240	104,43
70	229,33	250	104,43
80	228,03	260	119,83
90	158,23	270	158,23
100	119,93	280	228,03
110	104,43	290	229,33
120	104,43	300	181,33
130	104,43	310	154,73
140	104,43	320	138,13
150	104,43	330	127,93
160	104,43	340	121,93
170	104,43	350	119,03
180	104,43	360	118,33

FIGURE 11

**Contour de coordination d'une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OGS brouillant une station terrienne OGS de réception établi à l'aide de la méthode présentée au § 5.1**



1430-11