

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R SM.1448

(05/2000)

**Détermination de la zone de coordination
autour d'une station terrienne fonctionnant
dans des bandes de fréquences comprises
entre 100 MHz et 105 GHz**

Série SM

Gestion du spectre



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 SM.1448*, **

**DÉTERMINATION DE LA ZONE DE COORDINATION AUTOUR D'UNE STATION TERRIENNE
FONCTIONNANT DANS DES BANDES DE FRÉQUENCES
COMPRISES ENTRE 100 MHz ET 105 GHz**

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'une station terrienne utilisant en partage, à titre primaire avec égalité des droits, certaines bandes de fréquences avec des stations de Terre ou avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé peut causer ou subir des brouillages;
- b) que, pour éviter de tels brouillages, il est souhaitable de coordonner la station terrienne d'émission ou de réception avec les stations de Terre ou avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé;
- c) que cette coordination devra être entreprise à l'intérieur d'une zone de coordination entourant une station terrienne en cas de partage avec des services de Terre ou entourant une station terrienne d'émission en cas de partage avec des stations terriennes de réception dans des bandes attribuées dans les deux sens de transmission, jusqu'à des distances au-delà desquelles le niveau admissible de brouillage ne sera pas dépassé pendant un pourcentage de temps donné;
- d) que cette zone peut déborder dans un territoire relevant de la juridiction d'un autre Etat Membre, d'où la nécessité d'une coordination entre administrations;
- e) qu'avant de procéder à un examen détaillé, il est souhaitable de définir des méthodes permettant de déterminer, à partir d'hypothèses générales, une zone de coordination autour d'une station terrienne effectuant la coordination;
- f) que le brouillage dépendra de plusieurs facteurs, notamment la puissance de l'émetteur, le type de modulation, le gain d'antenne dans la direction du trajet brouilleur, la variation du gain d'antenne en fonction du temps dans le cas de stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires, la puissance de brouillage admissible relevée au niveau du récepteur, les mécanismes de propagation des ondes radioélectriques, les zones radiométéorologiques, la mobilité de la station terrienne et la distance par rapport à la station terrienne;
- g) qu'il est souhaitable d'élaborer et de tenir à jour une Recommandation UIT-R pouvant servir de texte source pour la mise à jour de l'Appendice 7 du Règlement des radiocommunications (RR) (voir les Notes 1 et 2),

reconnaissant

- a) que les dispositions du RR définissent les méthodes à utiliser pour déterminer les zones/distances de coordination, notamment les distances de coordination prédéterminées;
- b) les études pertinentes de l'UIT-R;
- c) que d'autres Recommandations de l'UIT-R définissent des méthodes particulières de détermination des zones/distances de coordination pour des applications particulières,

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 3, 4, 6 et 7 des radiocommunications.

** La Commission d'études 1 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2011 conformément aux dispositions de la Résolution ITU-R 1-5.

recommande

1 d'utiliser les méthodes et paramètres des systèmes décrits dans les Annexes 1 et 2 et leurs Appendices pour déterminer les zones de coordination des stations terriennes d'émission et de réception (voir la Note 3).

NOTE 1 – La présente Recommandation doit être mise à jour en fonction des modifications du RR qui découleront des décisions des Conférences mondiales des radiocommunications (CMR).

NOTE 2 – Les données de propagation figurant dans la présente Recommandation sont reprises d'un certain nombre de Recommandations UIT-R de la série P citées dans la Recommandation UIT-R P.620. Ces Recommandations sources ont été élaborées à diverses fins. Toutefois, pour tenir à jour ces données, il faudra faire tout particulièrement attention aux conséquences qui pourraient en résulter pour la présente Recommandation.

NOTE 3 – Les méthodes de détermination de la zone de coordination, exposées dans la présente Recommandation, diffèrent de celles de l'Appendice 30A du RR.

ANNEXE 1

Méthodes de détermination de la zone de coordination d'une station terrienne

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	4
1.1 Aperçu général	4
1.2 Structure	5
1.3 Principes de base	5
1.4 Scénarios de partage	10
1.4.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	10
1.4.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires	11
1.4.3 Stations terriennes fonctionnant à la fois avec des stations spatiales géostationnaires et des stations spatiales non géostationnaires	11
1.4.4 Stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission	11
1.4.5 Stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite	12
1.4.6 Stations terriennes du service mobile (sauf mobile aéronautique)	12
1.4.7 Stations terriennes du service mobile aéronautique	12
1.4.8 Stations terriennes transportables	12
1.4.9 Stations terriennes du service fixe fonctionnant dans des endroits quelconques dans une zone de service donnée	12
1.5 Notions relatives au modèle de propagation	12
1.5.1 Mode de propagation (1)	13
1.5.2 Mode de propagation (2)	14
1.5.3 Limites de distance	14
1.6 Contour de coordination: notions et construction	14
1.6.1 Contours supplémentaires	18
1.6.2 Contours auxiliaires	18
2 Détermination de la zone de coordination d'une station terrienne vis-à-vis de stations de Terre	20
2.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	21
2.1.1 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) autour de la station terrienne effectuant la coordination	22
2.1.2 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (2) autour de la station terrienne effectuant la coordination	22
2.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires	22
2.2.1 Détermination de la zone de coordination selon la méthode TIG	23
2.2.2 Détermination de la zone de coordination selon la méthode TVG	24
3 Détermination de la zone de coordination entre stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission	25
3.1 Stations terriennes effectuant la coordination et stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	26
3.1.1 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) autour de la station terrienne effectuant la coordination	26
3.1.2 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (2) autour de la station terrienne effectuant la coordination	27
3.2 Stations terriennes effectuant la coordination ou stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires	28
3.2.1 La station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec une station spatiale géostationnaire vis-à-vis de stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires	28
3.2.2 La station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec une station spatiale non géostationnaire vis-à-vis de stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	28

	3.2.3	La station terrienne effectuant la coordination et la station terrienne inconnue fonctionnent toutes les deux avec des stations spatiales non géostationnaires.....	28
4		Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1).....	28
	4.1	Information sur les zones radioclimatiques.....	29
	4.2	Distance de coordination minimale pour les modes de propagation (1) et (2).....	29
	4.3	Distance de coordination maximale pour le mode de propagation (1).....	30
	4.4	Directives concernant l'application des procédures pour le mode de propagation (1).....	31
5		Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (2).....	32
	5.1	Distance nécessaire pour le mode de propagation (2).....	32

1 Introduction

La présente Annexe traite de la détermination de la zone de coordination autour d'une station terrienne d'émission ou de réception qui partage des bandes de fréquences entre 100 MHz et 105 GHz avec des services de radiocommunication de Terre ou avec des stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé.

La zone de coordination correspond à la zone entourant une station terrienne qui partage avec des stations de Terre la même bande de fréquences, ou à la zone entourant une station terrienne d'émission qui partage avec des stations terriennes de réception une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission, à l'intérieur de laquelle le niveau admissible de brouillage peut être dépassé, d'où la nécessité de la coordination. Cette zone est déterminée à partir de caractéristiques connues pour la station terrienne effectuant la coordination et d'hypothèses prudentes concernant le trajet de propagation et les paramètres de système pour les stations de Terre inconnues (voir Tableaux 14 et 15) ou les stations terriennes de réception inconnues (Tableau 16) qui partagent la même bande de fréquences.

1.1 Aperçu général

Les Annexes 1 et 2 définissent les procédures et les paramètres de système nécessaires pour le calcul de la zone de coordination d'une station terrienne; ils sont utilisés lorsque le RR n'indique pas d'autres méthodes, notamment de distances prédéterminées.

Ces procédures permettent de déterminer, dans tous les azimuts, une distance à partir d'une station terrienne d'émission ou de réception, au-delà de laquelle l'affaiblissement prévu sur le trajet devrait normalement dépasser une valeur spécifiée tout le temps, sauf pendant un pourcentage de temps spécifié. Cette distance est appelée distance de coordination. Lorsqu'elle est déterminée pour chaque azimut autour de la station terrienne effectuant la coordination, elle définit un contour de distance appelé contour de coordination qui délimite la zone de coordination.

Il importe de noter que la détermination de la zone de coordination, même si elle se fonde sur des critères techniques, est un concept réglementaire. Il s'agit d'identifier la zone à l'intérieur de laquelle il faut effectuer des évaluations détaillées des risques de brouillage pour déterminer si la station terrienne effectuant la coordination ou l'une quelconque des stations de Terre, ou bien encore, dans le cas d'une attribution dans les deux sens de transmission, l'une quelconque des stations terriennes de réception partageant une bande de fréquences, subira des niveaux inacceptables de brouillage. La zone de coordination n'est donc pas une zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle le partage de fréquences entre la station terrienne et des stations de Terre ou d'autres stations terriennes est interdit, mais plutôt la zone à l'intérieur de laquelle il faut effectuer des calculs plus détaillés. Dans la plupart des cas, une analyse plus approfondie fera apparaître que le partage à l'intérieur de la zone de coordination est possible puisque la méthode de détermination de cette zone se fonde sur des hypothèses défavorables pour ce qui est des risques de brouillage.

Il faut considérer deux cas distincts pour la détermination de la zone de coordination:

- le cas de la station terrienne qui émet et qui peut donc brouiller des stations de Terre ou des stations terriennes de réception;
- le cas de la station terrienne qui reçoit et qui peut donc subir des brouillages provenant de stations de Terre d'émission.

Les calculs sont effectués séparément pour les mécanismes de propagation sur le grand cercle (mode de propagation (1)) et, si le scénario de partage l'exige (voir § 1.4), pour la diffusion par les hydrométéores (mode de propagation (2)). Le contour de coordination est alors déterminé en prenant la distance la plus grande entre la distance pour le mode de propagation (1) et la distance pour le mode de propagation (2), pour chaque azimut autour de la station terrienne effectuant la coordination. A chaque scénario de partage correspondent des contours de coordination distincts. On trouvera au § 1.6 des directives et des exemples pour le tracé des contours de coordination et des contours associés en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2).

Pour faciliter les discussions bilatérales, il peut être utile de calculer des contours additionnels, définissant des zones de coordination plus petites, qui se fondent sur des hypothèses moins prudentes que celles utilisées pour le calcul du contour de coordination.

1.2 Structure

Les procédures et les informations concernant les systèmes sont données dans les deux annexes, respectivement dans l'Annexe 1 et dans l'Annexe 2. Les principes généraux sont séparés du texte détaillé concernant les méthodes, les premiers faisant partie du corps de l'Annexe 1 et le dernier une série d'appendices de l'Annexe 1. Grâce à cette structure, chaque section de l'Annexe 1 et chaque appendice traite d'un aspect spécifique des calculs de la zone de coordination. L'utilisateur peut quant à lui choisir uniquement les sections qui concernent un scénario de partage particulier.

La Fig. 1 et le Tableau 1 sont destinés à aider l'utilisateur à naviguer dans les Annexes et les Appendices. Le Tableau 1 précise également les sections à examiner pour un cas de coordination particulier.

1.3 Principes de base

La zone de coordination est déterminée à partir de la puissance brouilleuse admissible relevée aux bornes de l'antenne d'une station de Terre ou d'une station terrienne de réception. L'affaiblissement nécessaire pour limiter le niveau de brouillage entre une station de Terre ou une station terrienne d'émission et une station de Terre ou une station terrienne de réception à la puissance brouilleuse admissible pendant $p\%$ du temps est représenté par «l'affaiblissement nécessaire minimal», lequel est l'affaiblissement qui doit être égalé ou dépassé par l'affaiblissement prévu sur le trajet pendant tous les pourcentages de temps sauf $p\%$ du temps. (Lorsque p représente un faible pourcentage de temps, compris entre 0,001% et 1,0%, on parle de brouillage à «court terme»; si $p \geq 20\%$, on parle de brouillage à «long terme» (voir § 1.5.3).)

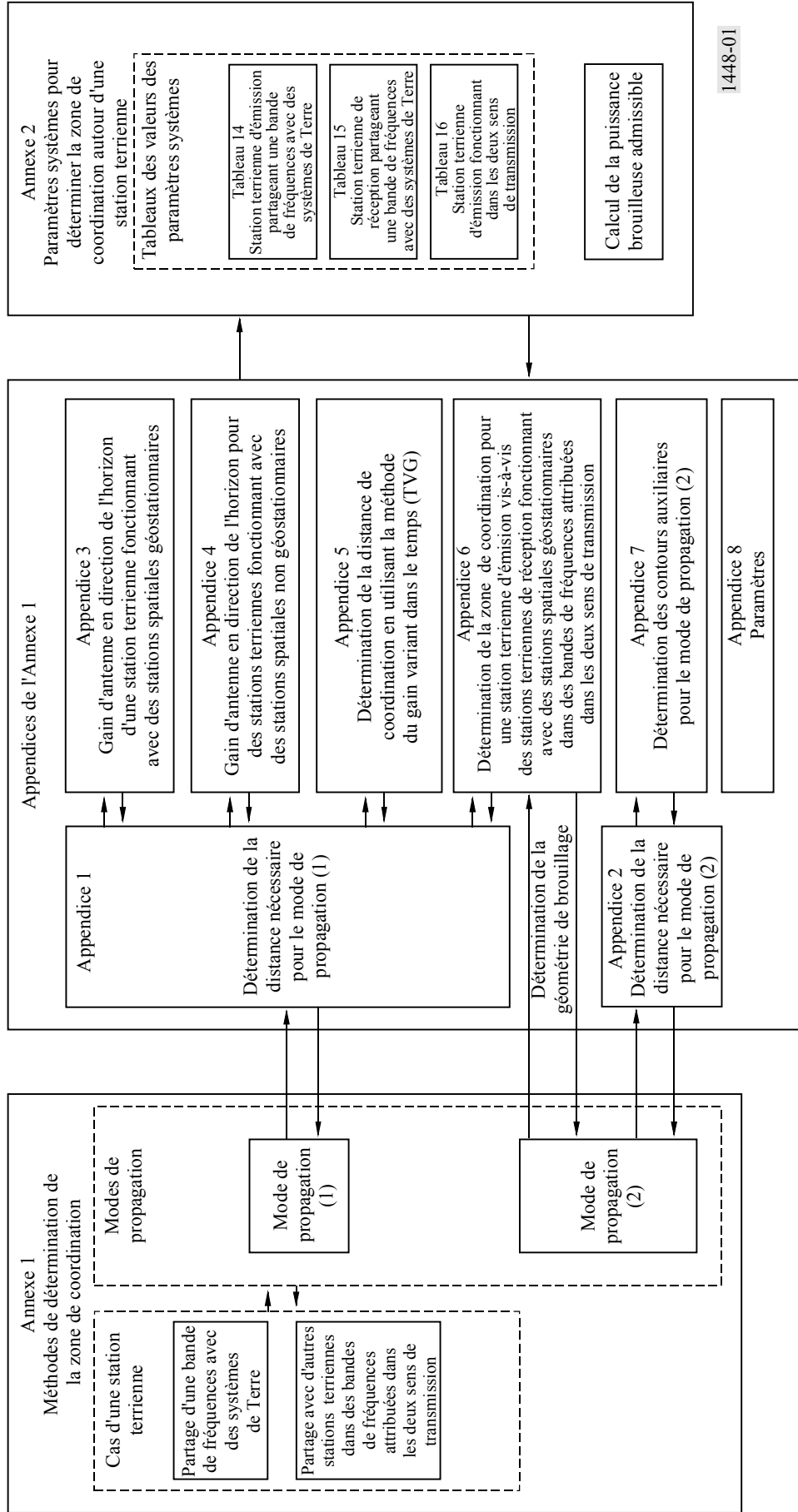
L'équation suivante s'applique pour le mode de propagation (1):

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

- p : pourcentage de temps maximum pendant lequel la puissance brouilleuse admissible peut être dépassée
- $L_b(p)$: affaiblissement nécessaire minimal (dB) en mode de propagation (1) pendant $p\%$ du temps; cette valeur doit être dépassée par l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) pendant tous les pourcentages de temps sauf $p\%$ du temps
- P_t : niveau maximal de puissance à l'émission disponible (dBW) dans la largeur de bande de référence, relevé aux bornes de l'antenne d'une station de Terre ou d'une station terrienne d'émission
- $P_r(p)$: puissance brouilleuse admissible d'une émission brouilleuse (dBW) dans la largeur de bande de référence qui sera dépassée pendant pas plus de $p\%$ du temps, aux bornes de l'antenne d'une station de Terre ou d'une station terrienne de réception susceptible d'être brouillée, pour une seule source de brouillage
- G_t : gain (en dB par rapport au gain isotrope) de l'antenne de la station de Terre ou de la station terrienne d'émission. Pour une station terrienne d'émission, il s'agit du gain d'antenne en direction de l'horizon physique pour un azimut donné; pour une station de Terre d'émission, on utilisera le gain d'antenne maximum de l'axe du faisceau principal
- G_r : gain (en dB par rapport au gain isotrope) de l'antenne de la station de Terre ou de la station terrienne de réception susceptible d'être brouillée. Pour une station terrienne de réception, il s'agit du gain en direction de l'horizon physique pour un azimut donné; pour une station de Terre de réception, on utilisera le gain d'antenne maximum de l'axe du faisceau principal.

FIGURE 1
Présentation de la structure



1448-01

TABLEAU 1

Correspondance entre scénarios de brouillage et méthodes de calcul

Sections et Appendices applicables de l'Annexe 1 et de l'Annexe 2	Scénarios de partage du § 1.4 de l'Annexe 1								
	§ 1.4.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	§ 1.4.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires ⁽¹⁾	§ 1.4.3 Stations terriennes fonctionnant à la fois avec des stations spatiales géostationnaires et des stations spatiales non géostationnaires	§ 1.4.4 Stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission	§ 1.4.5 Stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite	§ 1.4.6 Stations terriennes du service mobile (sauf mobile aéronautique)	§ 1.4.7 Stations terriennes du service mobile aéronautique	§ 1.4.8 Stations terriennes transportables	§ 1.4.9 Stations terriennes du service fixe fonctionnant dans des endroits quelconques dans une zone de service donnée
§ 1.3 Principe de base	X	X	X	X	X	X	X	X	X
§ 1.5 Notions relatives au modèle de propagation	X	X	X	X	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6
§ 1.6 Contour de coordination: notions et construction	X	X	X	X					
§ 2.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	X		X						
§ 2.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires		X	X						
§ 3 Détermination de la zone de coordination entre stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission				X					
§ 4 Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1)	X	X	X	X					
§ 5 Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (2)	X		X						
Appendice 1 Détermination de la distance nécessaire pour le mode de propagation (1)	X	X	X	X					

TABLEAU 1 (fin)

Sections et Appendices applicables de l'Annexe 1 et de l'Annexe 2	Scénarios de partage du § 1.4 de l'Annexe 1								
	§ 1.4.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	§ 1.4.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires ⁽¹⁾	§ 1.4.3 Stations terriennes fonctionnant à la fois avec des stations spatiales géostationnaires et des stations spatiales non géostationnaires	§ 1.4.4 Stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission	§ 1.4.5 Stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite	§ 1.4.6 Stations terriennes du service mobile (sauf mobile aéronautique)	§ 1.4.7 Stations terriennes du service mobile aéronautique	§ 1.4.8 Stations terriennes transportables	§ 1.4.9 Stations terriennes du service fixe fonctionnant dans des endroits quelconques dans une zone de service donnée
Appendice 2 Détermination de la distance nécessaire pour le mode de propagation (2)	X		X		Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6	Voir § 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, ou 1.4.4 selon le cas et § 1.6
Appendice 3 Gain d'antenne en direction de l'horizon d'une station terrienne fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires	X		X						
Appendice 4 Gain d'antenne en direction de l'horizon pour des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires		X	X	X					
Appendice 5 Détermination de la distance de coordination en utilisant la méthode du gain variant dans le temps (TVG)		X	X	X					
Appendice 6 Détermination de la zone de coordination pour une station terrienne d'émission vis-à-vis de stations terriennes de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission				X					
Appendice 7 Détermination des contours auxiliaires pour le mode de propagation (2)	X			X					
Appendice 8 Paramètres	X	X	X	X					
Annexe 2 Paramètres systèmes pour déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne	X	X	X	X					

⁽¹⁾ Pour une station terrienne utilisant une antenne autre que de poursuite, on utilise la procédure prévue au § 2.1. Pour une station terrienne utilisant une antenne non directive, on utilise les procédures prévues au §.2.1.1

Le mode de propagation (2) fait intervenir un processus de diffusion volumique, d'où la nécessité de modifier la méthode décrite ci-dessus. Lorsque le faisceau de l'antenne de la station terrienne effectuant la coordination coupe une cellule de pluie, un volume commun peut être formé avec un faisceau de la station de Terre ou un faisceau de la station terrienne (fonctionnant dans le sens de transmission opposé dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission). Dans le cas d'une station de Terre, on suppose que l'ouverture de faisceau de cette station est relativement grande par rapport à celle de la station terrienne effectuant la coordination (les valeurs de gain pour la station de Terre sont données dans les Tableaux 14 et 15) et que la station de Terre est à une certaine distance du volume commun. On suppose donc que le faisceau de la station de Terre illumine l'intégralité de la cellule de pluie, qui est représentée par un cylindre vertical contenant les hydrométéores qui engendrent une diffusion isotrope des signaux. Le processus de diffusion peut être à l'origine d'un couplage accidentel, via le volume commun, entre la station terrienne effectuant la coordination et les stations de Terre, ou d'autres stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

Il y a une relation d'interdépendance entre le gain d'antenne de la station terrienne et l'ouverture de faisceau. La taille du volume commun et le nombre de signaux ayant subi une diffusion à l'intérieur de ce volume augmentent lorsque le gain de l'antenne de la station terrienne émettant ou recevant ces signaux diminue, un effet compensant l'autre. Un terme donnant une bonne approximation de l'intégrale nécessaire pour évaluer le processus de diffusion volumique à l'intérieur du faisceau de l'antenne de la station terrienne est inclus dans l'équation (83). Par conséquent, pour évaluer les brouillages imputables aux mécanismes du mode de propagation (2), on peut poser l'hypothèse simplificatrice que l'affaiblissement sur le trajet est indépendant du gain de l'antenne de la station terrienne (voir la Note 1).

NOTE 1 – Si l'antenne de la station terrienne a une grande ouverture de faisceau, on peut continuer à utiliser la méthode pour déterminer le contour de coordination en mode de propagation (2). Toutefois du fait que le faisceau de l'antenne peut être plus large que la cellule de pluie et, par conséquent, peut ne pas être totalement rempli par les hydrométéores, on risque de surestimer légèrement les brouillages potentiels.

Par conséquent, pour le mode de propagation (2), l'équation (1) se ramène à:

$$L_x(p) = P_t + G_x - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

$L_x(p)$: affaiblissement minimal nécessaire pour le mode de propagation (2)

G_x : gain d'antenne maximal (dBi) supposé pour la station de Terre. Les Tableaux 14 et 15 donnent les valeurs de G_x pour les diverses bandes de fréquences.

Pour faciliter le calcul des contours auxiliaires en mode de propagation (2) (voir § 1.6.2.2), on modifie encore le calcul en plaçant le gain d'antenne du réseau de Terre G_x dans la boucle itérative utilisée pour calculer l'affaiblissement nécessaire en mode de propagation (2). (Voir l'équation (83)).

Par conséquent, l'équation (2) se ramène à:

$$L(p) = P_t - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (3)$$

où:

$L(p)$: affaiblissement nécessaire minimal (dB) en mode de propagation (2) pendant $p\%$ du temps; cette valeur doit être dépassée par l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (2) pendant tout le temps sauf $p\%$ du temps.

Pour les deux modes de propagation, P_t et $P_r(p)$ sont définis pour la même largeur de bande RF (largeur de bande de référence). $L_b(p)$, $L(p)$ et $P_r(p)$ sont définis pour le même petit pourcentage de temps, et ces valeurs sont déterminées en fonction de critères de qualité de fonctionnement de la station de Terre ou de la station terrienne de réception susceptible de subir des brouillages.

Pour une station terrienne fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires, l'Appendice 3 de l'Annexe 1 donne la méthode numérique permettant de déterminer l'angle minimal formé par l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne et l'horizon physique, en fonction de l'azimut, et le gain d'antenne correspondant. Dans le cas d'une station spatiale sur orbite géostationnaire légèrement inclinée, l'angle d'élévation minimal et le gain correspondant en direction de l'horizon dépendront de l'angle d'inclinaison maximal à coordonner.

Pour une station terrienne fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires, le gain d'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon varie en fonction du temps; l'Appendice 4 de l'Annexe 1 donne les méthodes numériques permettant de le déterminer.

Pour une station terrienne fonctionnant dans une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission, le gain d'antenne à utiliser pour déterminer l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1) se calcule selon les méthodes indiquées dans les Appendices 3 ou 4 de l'Annexe 1, selon le cas.

Pour déterminer la zone de coordination, il faut calculer l'affaiblissement prévu sur le trajet et le comparer à l'affaiblissement nécessaire minimal pour chaque azimut autour de la station terrienne effectuant la coordination où:

- l'affaiblissement prévu sur le trajet dépend de plusieurs facteurs, notamment la longueur et la géométrie générale du trajet brouilleur (par exemple pointage de l'antenne et angle d'élévation de l'horizon), la directivité de l'antenne, les conditions radioclimatiques et le pourcentage de temps pendant lequel l'affaiblissement prévu sur le trajet est inférieur à l'affaiblissement nécessaire minimal; et
- l'affaiblissement nécessaire minimal est fondé sur des considérations liées au système et au modèle de brouillage.

La distance de coordination nécessaire est la distance à laquelle ces deux affaiblissements sont considérés comme étant égaux pendant le pourcentage de temps indiqué.

Pour déterminer la zone de coordination, on connaît les paramètres de la station terrienne effectuant la coordination mais on sait peu de choses sur les stations de Terre ou les autres stations terriennes partageant la même gamme de fréquences. Il faut donc partir de paramètres de système hypothétiques pour les stations de Terre ou les stations terriennes de réception inconnues. De plus, de nombreux éléments concernant le trajet de brouillage entre la station terrienne effectuant la coordination et les stations de Terre ou d'autres stations terriennes (par exemple, géométrie et directivité de l'antenne) sont inconnus.

La détermination de la zone de coordination est fondée sur des hypothèses défavorables concernant les valeurs des paramètres de système et la géométrie du trajet de brouillage. Toutefois, dans certaines circonstances, il n'est pas réaliste de supposer que toutes les valeurs correspondant au cas le plus défavorable se présenteront simultanément et cela conduit à des valeurs exagérément élevées pour l'affaiblissement nécessaire minimal, ce qui pourrait se traduire par des zones de coordination elles aussi exagérément étendues. Pour le mode de propagation (1), des analyses détaillées étayées par un grand nombre de données d'exploitation ont montré que l'exigence concernant l'affaiblissement nécessaire minimal peut être assouplie car il est très peu probable que les hypothèses les plus défavorables pour les valeurs des paramètres de système et la géométrie du trajet de brouillage se présentent simultanément. On applique donc une correction pour calculer l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) dans le scénario de partage approprié pour pouvoir tirer parti de ces effets correctifs. L'application de ce facteur de correction est décrite plus en détail au § 4.4.

Cette correction vaut pour les cas de coordination avec le service fixe. Elle dépend de la fréquence, de la distance et du trajet et ne s'applique pas dans le cas de la coordination d'une station terrienne avec des stations mobiles ni avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé, pas plus que dans le cas de la propagation par diffusion par les hydrométéores (mode de propagation (2)).

On utilise un certain nombre de modèles de propagation pour couvrir les mécanismes de propagation que l'on observe sur toute l'étendue du spectre. Dans ces modèles, l'affaiblissement sur le trajet est représenté par une fonction monotone croissante de la distance. On détermine les distances de coordination en calculant par itération l'affaiblissement sur le trajet pour des valeurs croissantes de la distance, jusqu'à ce que l'on atteigne l'affaiblissement nécessaire minimal ou la distance maximale de calcul applicable (voir le § 1.5.3).

On part toujours d'une valeur définie de la distance minimale d_{min} (km) et l'itération se fait par pas constant de s km pour des valeurs croissantes de la distance. On recommande un pas de 1 km.

1.4 Scénarios de partage

Les hypothèses de base faites pour les différents scénarios de partage entre stations terriennes sont exposées dans les paragraphes ci-après, qui doivent être lus en parallèle avec les informations données dans le Tableau 1 et au § 1.6, lequel donne quelques orientations pour le tracé du contour de coordination.

1.4.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

Pour des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales sur orbite géostationnaire, la station spatiale semble immobile par rapport à la Terre. Toutefois, les variations des forces de gravitation agissant sur la station spatiale et les difficultés du maintien en position font que les paramètres orbitaux de la station spatiale géostationnaire ne sont pas constants. Le déplacement de la station spatiale dans le sens est/ouest par rapport à sa position orbitale nominale (tolérance de longitude) est limité par le RR, mais aucune valeur n'est indiquée pour le déplacement dans le sens nord/sud (excursion d'inclinaison).

Un assouplissement du maintien en position nord/sud d'une station spatiale géostationnaire permet d'incliner son orbite, l'inclinaison augmentant progressivement avec le temps. Pour déterminer la zone de coordination, il faut donc prendre en

considération l'amplitude du mouvement de l'antenne de la station terrienne. Si la station terrienne fonctionne avec plusieurs stations spatiales sur orbites légèrement inclinées, il faut prendre en considération toutes les directions de pointage possibles de l'axe du faisceau principal de l'antenne et utiliser l'angle d'élévation minimal pour chaque azimut. Il est vrai que ce n'est pas tout le temps mais l'antenne de la station terrienne peut pointer dans une seule et même direction pendant une durée de temps considérable. On suppose donc que le gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon est constant. Dans le cas d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale sur une orbite comme celle décrite ci-dessus, partir de l'hypothèse d'un gain constant en direction de l'horizon alors que l'angle d'inclinaison augmente peut conduire à une estimation prudente de la zone de coordination d'autant plus prudente que l'angle d'inclinaison augmente.

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire, la zone de coordination est déterminée selon les procédures décrites au § 2.1.

1.4.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires

Les stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires peuvent utiliser une antenne directive ou non directive. Par ailleurs, les stations terriennes utilisant une antenne directive peuvent suivre le trajet sur l'orbite d'une station spatiale non géostationnaire.

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire, on suppose que le gain d'antenne en direction de l'horizon est constant; en revanche ce gain varie dans le temps lorsque l'antenne de la station terrienne suit le trajet sur l'orbite d'une station spatiale non géostationnaire. Il faut donc évaluer la variation dans le temps du gain d'antenne en direction de l'horizon, pour chaque azimut, pour pouvoir déterminer la zone de coordination. Cette procédure est décrite au § 2.2.

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire, le mouvement d'une antenne de poursuite ayant un gain relativement élevé réduit la probabilité de brouillage dû au mode de propagation (2) et les distances nécessaires pour ce mode de propagation seront donc relativement courtes. La distance de coordination minimale, d_{min} , (voir § 1.5.3) permettra d'assurer une protection suffisante dans ces cas. Le contour de coordination en mode de propagation (2) est donc considéré identique à un cercle représenté par la distance de coordination minimale. Les calculs pour le mode de propagation (2) ne sont pas nécessaires dans ce cas et la zone de coordination est déterminée uniquement selon la méthode utilisée pour le mode de propagation (1) (voir le § 2.2).

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire, qui utilise une antenne non directive, la situation est la même, c'est-à-dire qu'en raison du faible gain d'antenne, les distances nécessaires en mode de propagation (2) seront inférieures à la distance de coordination minimale. Par conséquent, dans le cas d'une antenne non directive, le contour de coordination en mode de propagation (2) coïncide là aussi avec le cercle ayant pour rayon la distance minimale, d_{min} , et la distance de coordination est déterminée uniquement selon la méthode utilisée pour le mode de propagation (1) (voir § 2.1.1).

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire, qui utilise une antenne directive qui n'est pas une antenne de poursuite, les risques de brouillage dus au mode de propagation (2) sont les mêmes que dans le cas d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire. Par conséquent, pour une antenne directive qui n'est pas une antenne de poursuite, la zone de coordination est déterminée selon les méthodes utilisées pour le mode de propagation (1) et le mode de propagation (2) (voir § 2.1).

1.4.3 Stations terriennes fonctionnant à la fois avec des stations spatiales géostationnaires et des stations spatiales non géostationnaires

Pour des stations terriennes qui sont destinées à fonctionner parfois avec des stations spatiales géostationnaires et parfois avec des stations spatiales non géostationnaires, on définit dans chaque cas des zones de coordination distinctes: la zone de coordination pour la station spatiale géostationnaire est déterminée selon les procédures décrites au § 2.1 et celle pour la station spatiale non géostationnaire selon la procédure décrite au § 2.2.

1.4.4 Stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

Pour des stations terriennes fonctionnant dans certaines bandes de fréquences, il peut y avoir des attributions primaires avec égalité de droits à des services spatiaux fonctionnant dans le sens Terre vers espace et dans le sens espace vers Terre. Dans ce cas, lorsque deux stations terriennes fonctionnent dans des sens de transmission opposés, il suffit de déterminer la zone de coordination pour la station terrienne d'émission car les stations terriennes de réception seront automatiquement prises en considération. Par conséquent, une station terrienne de réception fonctionnant dans une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission ne devra effectuer la coordination avec une station terrienne d'émission que si elle est située dans les limites de la zone de coordination de cette station.

Pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec des satellites géostationnaires ou non géostationnaires dans une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission, la zone de coordination est déterminée selon les procédures décrites au § 3.

1.4.5 Stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite

Pour des stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite fonctionnant dans les bandes non planifiées, la zone de coordination est déterminée en repoussant les limites de la zone de service spécifiée à l'intérieur de laquelle fonctionnent les stations terriennes d'une distance égale à la distance de coordination établie sur la base d'une station terrienne type du service de radiodiffusion par satellite (SRS). Pour calculer la distance de coordination, on ne peut supposer aucune protection supplémentaire découlant de l'angle d'élévation de l'horizon pour la station terrienne, c'est-à-dire $A_h = 0$ dB dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1, pour tout azimut autour de la station terrienne.

1.4.6 Stations terriennes du service mobile (sauf mobile aéronautique)

Pour une station terrienne du service mobile (sauf mobile aéronautique), la zone de coordination est déterminée en repoussant les limites de la zone de service spécifiée, à l'intérieur de laquelle fonctionnent les stations terriennes mobiles (sauf mobile aéronautique), d'une distance égale à la distance de coordination, laquelle peut être représentée par une distance de coordination prédéterminée ou calculée. Pour calculer la distance de coordination, on ne peut supposer aucune protection supplémentaire découlant de l'angle d'élévation de l'horizon pour la station terrienne, c'est-à-dire $A_h = 0$ dB dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1, pour tout azimut autour de la station terrienne.

1.4.7 Stations terriennes du service mobile aéronautique

Pour des stations terriennes du service mobile aéronautique, la zone de coordination est déterminée en repoussant les limites de la zone de service spécifiée, à l'intérieur de laquelle fonctionne la station terrienne du service mobile aéronautique, d'une distance égale à une distance de coordination prédéterminée appropriée pour les différents services.

1.4.8 Stations terriennes transportables

Pour une station terrienne transportable, la zone de coordination est calculée pour chaque emplacement particulier.

1.4.9 Stations terriennes du service fixe fonctionnant dans des endroits quelconques dans une zone de service donnée

Pour savoir si une coordination entre stations terriennes, zone par zone, est autorisée, on utilise la méthode suivante.

Pour les stations terriennes du service fixe qui sont exploitées en des lieux non spécifiés à l'intérieur d'une zone de service définie par l'administration, la zone de coordination est déterminée en repoussant les limites de cette zone de service d'une distance égale à la distance de coordination maximale (voir § 4.3). On reconnaît que cette méthode est prudente et que d'autres études seront nécessaires dans l'avenir. Compte tenu de la prudence de cette méthode de détermination de la zone de coordination, en attendant que des travaux sur ces études soient entrepris, les administrations sont invitées, en particulier lorsque les distances de propagation risquent d'être nettement inférieures à la distance de coordination maximale, à conclure des accords bilatéraux pour la mise en oeuvre de ces stations terriennes afin de réduire au strict minimum le nombre de stations terriennes nécessitant une coordination détaillée.

1.5 Notions relatives au modèle de propagation

Pour chaque mode de propagation, selon les impératifs inhérents à chaque scénario de partage (voir § 1.4), il faut déterminer l'affaiblissement prévu sur le trajet, lequel est lié à un certain nombre de mécanismes de propagation.

Le brouillage peut être imputable à plusieurs mécanismes de propagation, la prépondérance de l'un ou de l'autre dépendant du climat, de la fréquence, du pourcentage de temps considéré, de la distance et de la topographie du trajet. A tout moment, un ou plusieurs mécanismes peuvent être présents. Les mécanismes de propagation pris en compte dans la présente Annexe pour déterminer les risques de brouillage sont les suivants:

- *Diffraction*: Affaiblissements par diffraction qui se produisent au-dessus de l'horizon physique local de la station terrienne. Ce phénomène est désigné ci-après par le terme «effet d'écran». On considère que le reste du trajet le long de chaque rayon est plat et qu'il ne subit donc pas d'affaiblissements supplémentaires par diffraction.
- *Diffusion troposphérique*: Ce mécanisme définit le niveau de brouillage «de fond» pour des distances de plus de 100 km au-delà desquelles le champ de diffraction devient très faible.
- *Conduit en surface*: Il s'agit du phénomène de brouillage à court terme le plus important que l'on observe au-dessus de l'eau ou dans des zones côtières plates; il peut être à l'origine de signaux de forte intensité sur de longues distances, parfois supérieures à 500 km. Dans certaines conditions, ces signaux peuvent dépasser le niveau équivalent en «espace libre».

- *Réflexion et réfraction par les couches supérieures*: Le traitement de la réflexion et/ou de la réfraction par les couches d'une altitude pouvant aller jusqu'à quelques centaines de mètres est un mécanisme important qui permet aux signaux d'éviter les affaiblissements par diffraction dus au relief parce que la géométrie du trajet est propice. Là aussi l'incidence peut être importante sur de longues distances.
- *Diffusion par les hydrométéores*: La diffusion par les hydrométéores peut être une source potentielle de brouillage entre émetteurs de stations de Terre et stations terriennes car elle peut agir de façon isotrope et peut donc avoir une incidence, que le volume commun soit situé sur ou en dehors du trajet de brouillage du grand cercle entre la station terrienne effectuant la coordination et des stations de Terre ou d'autres stations terriennes de réception fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

Dans la présente Annexe, les phénomènes de propagation sont classés en deux modes:

- *Mode de propagation (1)*: Phénomènes de propagation par atmosphère claire (diffusion troposphérique, phénomènes de conduit, réflexion/réfraction par les couches, absorption gazeuse et effet d'écran). Ces phénomènes se limitent à la propagation le long du trajet du grand cercle.
- *Mode de propagation (2)*: Diffusion par les hydrométéores.

1.5.1 Mode de propagation (1)

Pour déterminer la distance nécessaire pour le mode de propagation (1), la gamme des fréquences applicables a été subdivisée en trois:

- Fréquences (ondes métriques et décimétriques) comprises entre 100 MHz et 790 MHz et pourcentages de temps compris entre 1% et 50% d'une année moyenne: le modèle de propagation est basé sur des données d'observation et englobe tous les mécanismes de mode de propagation (1) à l'exception de l'effet d'écran (traité séparément).
- Fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz et pourcentages de temps compris entre 0,001% et 50% d'une année moyenne: le modèle de propagation tient compte de la diffusion troposphérique, des phénomènes de conduit et de la réflexion/réfraction par les couches. Des calculs distincts sont faits pour chacun des mécanismes du mode de propagation (1).
- Fréquences comprises entre 60 GHz et 105 GHz et pourcentages de temps compris entre 0,001% et 50 % d'une année moyenne: le modèle millimétrique est basé sur l'affaiblissement en espace libre et sur une estimation prudente de l'absorption gazeuse auxquels s'ajoute une marge tolérance pour les suramplitudes du signal pendant de faibles pourcentages de temps.

La variation de l'affaiblissement prévu sur le trajet dû à l'angle d'élévation de l'horizon autour d'une station terrienne est calculée selon la méthode décrite au § 1 de l'Appendice 1 de l'Annexe 1, en utilisant les angles d'élévation de l'horizon et les distances le long de différents rayons depuis la station terrienne. Pour toutes les fréquences comprises entre 100 MHz et 105 GHz l'affaiblissement résultant des caractéristiques de l'horizon est pris en compte dans la valeur d'affaiblissement prévu en mode de propagation (1) à moins que son utilisation ne soit expressément interdite pour un scénario de partage particulier (voir § 1.4.5, § 1.4.6, § 1.4.7 et § 1.4.9).

Pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1), le monde a été divisé en quatre grandes zones radioclimatiques à savoir:

- Zone A1: zone côtière, c'est-à-dire terres adjacentes à une Zone B ou à une Zone C (voir ci-après) jusqu'à une altitude de 100 m par rapport au niveau moyen de la mer ou des eaux, mais limitée à une distance maximale de 50 km à partir de la Zone B ou de la Zone C la plus proche; en l'absence de données précises sur la courbe de niveau 100 m, on peut utiliser une valeur approchée (par exemple 300 pieds). Les vastes zones situées à l'intérieur des terres d'une superficie d'au moins 7 800 km² qui contiennent de nombreux petits lacs ou un réseau de rivières comportant plus de 50% de surface d'eau et dans lesquelles plus de 90% des terres sont à moins de 100 m au-dessus du niveau moyen de l'eau peuvent être incluses dans la Zone A1 (voir la Note 1).
- Zone A2: toutes les terres autres que les zones côtières visées dans la Zone A1 ci-dessus.
- Zone B: mers «froides», océans et vastes étendues d'eaux intérieures situés à des latitudes supérieures à 30°, à l'exception de la mer Méditerranée et de la mer Noire. Une «vaste» étendue d'eau intérieure est définie, pour les besoins administratifs de la coordination, comme une étendue d'au moins 7 800 km² à l'exclusion des zones de rivières. Les îles dans ces étendues d'eau doivent être assimilées à de l'eau pour le calcul de cette zone si elles sont à moins de 100 m au-dessus du niveau d'eau moyen pour plus de 90% de leur surface. Les îles ne correspondant pas à ces critères sont considérées comme des terres pour le calcul de la surface des étendues d'eau.
- Zone C: mers «chaudes», océans et vastes étendues d'eaux intérieures situés à des latitudes inférieures à 30°, ainsi que la mer Méditerranée et la mer Noire.

NOTE 1 – Les administrations peuvent déclarer ces zones additionnelles comme zones côtières A1 en vue de leur inclusion dans la carte mondiale numérisée de l'UIT (IDWM).

1.5.2 Mode de propagation (2)

Pour déterminer la distance nécessaire pour le mode de propagation (2), on peut ignorer le brouillage dû à la diffusion par les hydrométéores aux fréquences au-dessous de 1 000 MHz et au-dessus de 40,5 GHz en dehors de la distance de coordination minimale (voir § 1.5.3.1). Au-dessous de 1 000 MHz, le niveau du signal ayant subi une diffusion est très faible et au-dessus de 40,5 GHz, même si le phénomène de diffusion est important, ce signal est alors très affaibli sur le trajet entre le volume de diffusion et la station Terre ou la station terrienne de réception. L'effet d'écran ne concerne pas les mécanismes du mode de propagation (2) car le trajet de brouillage passe par le faisceau principal de l'antenne de la station terrienne effectuant la coordination.

1.5.3 Limites de distance

Il faut souvent évaluer l'incidence du brouillage sur les systèmes de Terre et les systèmes spatiaux en tenant compte des critères de brouillage à long terme et à court terme, lesquels sont généralement représentés par une puissance brouilleuse admissible qui ne doit pas être dépassée pendant plus d'un pourcentage de temps donné.

Le critère de brouillage à long terme (qui correspond en général à des pourcentages de temps $\geq 20\%$) permet de respecter l'objectif de caractéristique d'erreur (pour les systèmes numériques) ou de caractéristique de bruit (pour les systèmes analogiques). Ce critère correspond en général à un niveau de brouillage faible, d'où la nécessité d'une forte isolation entre la station terrienne effectuant la coordination et des stations de Terre ou d'autres stations terriennes de réception fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

Le critère à court terme correspond à un niveau de brouillage plus élevé; il est en général associé à des pourcentages de temps compris entre 0,001% et 1% et se traduit par une indisponibilité du système brouillé ou un dépassement de ses objectifs de brouillage à court terme spécifiés (caractéristique d'erreur ou de bruit).

Les Annexes 1 et 2 traitent uniquement de la protection du critère à court terme. On suppose donc implicitement que si le critère à court terme est satisfait, tout critère à long terme associé le sera également. Il se peut que cette hypothèse ne soit plus valable pour des distances courtes car d'autres phénomènes de propagation (diffraction, diffusion par les bâtiments/par le terrain, etc.), nécessitant une analyse plus détaillée, interviennent. Il faut donc pour éviter ce problème définir une distance de coordination minimale qui est toujours la valeur la plus faible de la distance de coordination utilisée. A des distances égales ou supérieures à la distance de coordination minimale, on peut supposer que le brouillage dû à des effets de propagation continus (à long terme) ne dépassera pas les niveaux autorisés par le critère à long terme.

Outre la distance de coordination minimale, il faut aussi fixer une limite supérieure à la distance de calcul. La distance de coordination, pour tout azimut, doit donc être comprise entre la valeur de la distance de coordination minimale et celle de la distance de calcul maximale.

1.5.3.1 Distance de coordination minimale

La distance de coordination dans une direction donnée, établie à partir des seuls facteurs de propagation, pourrait aller de quelques mètres à plusieurs centaines de kilomètres de la station terrienne. Toutefois, pour les raisons exposées précédemment, il faut fixer une limite inférieure à cette distance de coordination, d_{min} . Pour le calcul par itération de la distance de coordination, on part toujours de cette distance minimale, laquelle varie en fonction des facteurs radiométéorologiques et de la bande de fréquences (voir § 4.2). Cette même distance minimale est utilisée pour les calculs pour le mode de propagation (1) et le mode de propagation (2).

1.5.3.2 Distance de calcul maximale

On a besoin de distances de calcul maximales pour les modes de propagation (1) et (2). Dans le cas du mode de propagation (1), cette distance correspond à la distance de coordination maximale d_{max1} (définie au § 4.3) pour chacune des quatre zones radioclimatiques. La distance de calcul maximale pour le mode de propagation (1) dépend donc des zones radioclimatiques que traverse le trajet de propagation (comme indiqué au § 4.3).

La distance de calcul maximale pour le mode de propagation (2) est donnée au § 2 de l'Appendice 2 de l'Annexe 1.

1.6 Contour de coordination: notions et construction

La distance de coordination, déterminée pour chaque azimut autour de la station terrienne effectuant la coordination, définit le contour de coordination qui entoure la zone de coordination. Elle est comprise entre la distance de coordination minimale et la distance de calcul maximale.

Dans la présente Annexe, les procédures permettent de déterminer la distance à laquelle l'affaiblissement nécessaire minimal est égal à l'affaiblissement prévu sur le trajet. En outre, dans certaines procédures (voir la Note 1), on considère, pour un azimut quelconque, la distance déterminée pour le mode de propagation (1) et celle déterminée pour

le mode de propagation (2) et on retient pour calculer le contour de coordination la plus grande des deux. Dans ces deux cas, la distance à laquelle l'affaiblissement nécessaire minimal est égal à l'affaiblissement prévu sur le trajet peut ou non être située dans la fourchette de valeurs valables définissant les limites de la distance de coordination. La distance déterminée après application de toutes les procédures est appelée distance nécessaire.

NOTE 1 – On utilise les mêmes procédures pour élaborer les contours supplémentaires et les contours auxiliaires (voir § 1.6.1 et 1.6.2).

La zone de coordination est déterminée selon l'une des méthodes suivantes:

- le calcul, dans tous les azimuts à partir de la station terrienne, des distances de coordination puis le tracé à l'échelle, sur une carte appropriée, du contour de coordination; ou
- l'extension de la zone de service, dans toutes les directions, d'une distance égale à la (aux) distance(s) de coordination calculée(s); ou
- pour certains services et certaines bandes de fréquences, l'extension de la zone de service, dans toutes les directions, d'une distance égale à la distance de coordination prédéterminée.

Si un contour de coordination inclut les brouillages potentiels en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2), on retient comme distance nécessaire, pour tout azimut, la distance nécessaire en mode de propagation (1) ou la distance nécessaire en mode de propagation (2), selon celle qui est la plus grande.

Les scénarios de partage et les diverses procédures exposés dans la présente Annexe sont fondés sur des hypothèses différentes. La zone de coordination élaborée pour un scénario de partage devrait donc être fondée sur des paramètres de partage, des trajets de brouillage et des contraintes d'exploitation différents de ceux utilisés pour un scénario de partage différent. Il faut donc définir des zones de coordination distinctes pour chaque scénario de partage décrit au § 1.4, et chaque zone de coordination est spécifique aux services de radiocommunication couverts par le scénario de partage pour lequel elle a été élaborée. De plus, la zone de coordination établie pour un seul scénario de partage ne saurait être utilisée pour déterminer l'ampleur des éventuelles conséquences sur les services de radiocommunication couverts par un scénario de partage différent. Une station terrienne effectuant la coordination, qui fonctionne dans une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission et qui en outre partage certaines fréquences avec des stations de Terre aura donc deux zones de coordination distinctes:

- une zone de coordination pour déterminer les administrations dont les services de Terre sont susceptibles d'être affectés par le fonctionnement de la station terrienne effectuant la coordination; et
- une zone de coordination pour déterminer les administrations dont les stations terriennes de réception sont susceptibles d'être affectées par le fonctionnement de la station terrienne (d'émission) effectuant la coordination.

Il ressort de ce qui précède que pour définir la zone de coordination d'une station terrienne, il faudra généralement déterminer plusieurs zones de coordination individuelles, chacune étant tracée sur une carte différente. Par exemple, pour une station terrienne émettant à destination d'une station spatiale géostationnaire dans la bande 10,7-11,7 GHz, il faudra établir les zones de coordination suivantes vis-à-vis:

- des services de Terre analogiques qui reçoivent dans la même bande; on tiendra compte des risques de brouillage en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2);
- d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire qui reçoit dans la même bande; on tiendra compte des risques de brouillage en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2);
- d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire qui reçoit dans la même bande; on tiendra compte des risques de brouillage en mode de propagation (1).

On trace en outre des contours de coordination distincts si la station terrienne émet et reçoit dans des bandes utilisées en partage avec des services de Terre. Toutefois, pour des stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission, les contours de coordination vis-à-vis d'autres stations terriennes ne sont tracés que pour une station terrienne d'émission (voir § 1.4.4).

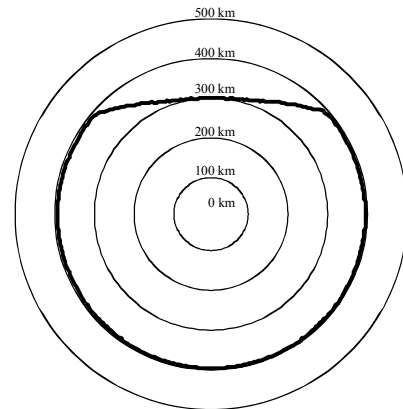
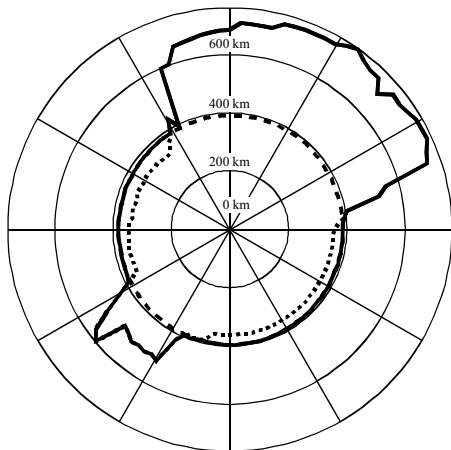
La Fig. 2 donne un exemple de zone de coordination pour chacun des scénarios de partage décrits au § 1.4. On notera que pour certains de ces scénarios, on trace de la même façon le contour de coordination (représenté par une ligne en traits pleins) qui entoure chaque zone de coordination. Pour les scénarios de partage où il faut tenir compte des trajets de brouillage en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2), on peut tracer en pointillés la partie du contour en mode de propagation (1) et celle en mode de propagation (2) situées à l'intérieur du contour de coordination global.

En plus du contour de coordination, on peut tracer des contours supplémentaires et des contours auxiliaires (voir § 1.6.1 et 1.6.2) pour faciliter des discussions plus approfondies concernant le partage. Les contours supplémentaires sont tracés pour la station terrienne effectuant la coordination qui partage des bandes de fréquences avec d'autres services de radiocommunication ou d'autres types de systèmes de radiocommunication du même service pour lesquels les critères de partage sont moins stricts que ceux applicables au système de radiocommunication utilisé pour élaborer la zone de

coordination. Pour établir ces contours, on peut utiliser la même méthode que celle pour le contour de coordination ou d'autres méthodes convenues au niveau bilatéral entre les administrations. Pour les contours auxiliaires, les hypothèses concernant le trajet de brouillage et les contraintes d'exploitation pour les stations de Terre inconnues ou les stations terriennes sont moins prudentes. On trace des contours auxiliaires distincts pour les trajets de brouillage en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2). Dans ce contexte, les contours à partir desquels le contour de coordination a été établi sont appelés contours principaux et les contours auxiliaires pour le mode de propagation (1) et le mode de propagation (2) sont rapportés au contour principal approprié. Les diverses hypothèses utilisées pour élaborer les contours auxiliaires du contour en mode de propagation (1) ou du contour en mode de propagation (2) peuvent aussi être utilisées pour contours supplémentaires. On peut donc tracer des contours auxiliaires pour un contour principal ou pour un contour supplémentaire.

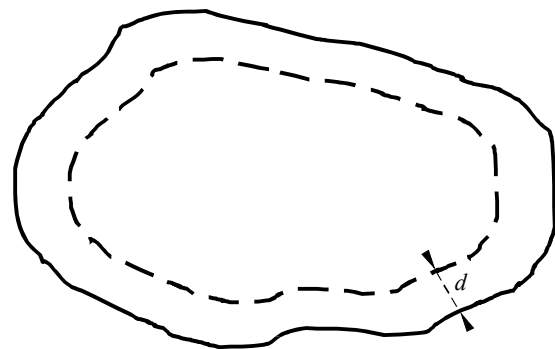
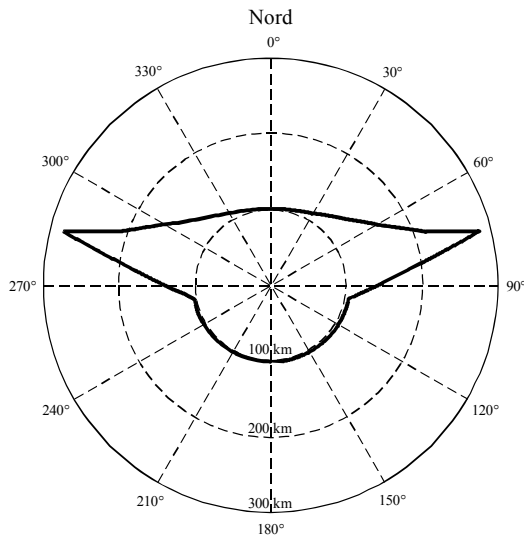
FIGURE 2

Exemples de contours de coordination pour chacun des scénarios de partage exposés au § 1.4



a) Exemple de contour de coordination pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale OSG (voir § 1.4.1 et § 1.4.3). Cet exemple vaut également pour le § 1.4.8. Le contour de coordination, représenté en traits pleins, se compose du contour en mode de propagation (1) et d'un contour circulaire en mode de propagation (2). Le contour de propagation (1) pourrait aussi être un exemple de contour pour une station terrienne équipée d'une antenne directive qui n'est pas une antenne de poursuite et fonctionnant avec une station spatiale non OSG (§ 1.4.2)

b) Exemple de contour de coordination pour une station terrienne équipée d'une antenne de poursuite et qui fonctionne avec une station spatiale non OSG (voir § 1.4.2 et § 1.4.3). Cet exemple vaut également pour le § 1.4.8



c) Exemple de contour de coordination pour une station terrienne fonctionnant dans des bandes attribuées dans les deux sens de transmission (§ 1.4.4). Cet exemple vaut également pour le § 1.4.8. Le contour de coordination a été établi à partir d'un contour en mode de propagation (1) pour une station terrienne effectuant la coordination et fonctionnant avec une station spatiale non OSG vis-à-vis de stations terriennes inconnues fonctionnant avec ces stations spatiales OSG. Voir l'Appendice 6 à l'Annexe 1 pour un contour en mode de propagation (2) dans le cas OSG-OSG

d) Exemple de contour de coordination pour une station terrienne fonctionnant dans une zone de service spécifiée (voir § 1.4.5, § 1.4.6, § 1.4.7 et § 1.4.9). Ce contour est représenté en traits pleins et la zone de service spécifiée en pointillés. La distance de coordination, d , peut avoir une valeur constante ou varier en fonction de l'azimut, selon le scénario de partage et le type de service de radiocommunication

1448-02

Les contours supplémentaires sont toujours tracés sur une carte distincte car ils concernent d'autres types de systèmes du même service de radiocommunication ou des systèmes de services de radiocommunication différents. Toutefois, étant donné que les diverses hypothèses utilisées pour déterminer le contour principal ou le contour supplémentaire sont aussi

utilisées pour les contours auxiliaires, on trace toujours ces contours sur la même carte que celle où figure le contour principal ou le contour supplémentaire correspondant.

L'utilisation des contours supplémentaires ou auxiliaires permet de formuler des hypothèses moins prudentes concernant le trajet de brouillage et les contraintes d'exploitation à prendre en considération mais les stations terriennes peuvent émettre ou recevoir diverses classes d'émission. Par conséquent, les paramètres des stations terriennes à utiliser pour déterminer le contour de coordination et tout contour supplémentaire ou auxiliaire sont ceux qui donnent les plus grandes distances pour chaque faisceau d'antenne de station terrienne et chaque bande de fréquences attribuée partagée entre la station terrienne effectuant la coordination partage et d'autres systèmes de radiocommunication.

1.6.1 Contours supplémentaires

La zone de coordination est déterminée sur la base des hypothèses les plus défavorables concernant les conditions de partage, les trajets de brouillage et les contraintes d'exploitation; vis-à-vis du type de station terrienne (ou dans une bande de fréquences avec une attribution spatiale bidirectionnelle, une station terrienne fonctionnant dans le sens de transmission opposée) pour lequel la distance de coordination serait la plus grande. Par conséquent, dans le cas des services de Terre, on a supposé que les stations fixes utilisant la diffusion troposphérique fonctionnaient dans des bandes de fréquences qui pouvaient être utilisées par ces systèmes de radiocommunication et que les stations fixes fonctionnant en visibilité directe et utilisant la modulation analogique étaient exploitées dans d'autres bandes de fréquences. D'autres systèmes de radiocommunication (par exemple, d'autres stations de Terre) qui ont en général des gains d'antenne faibles ou des paramètres systèmes moins stricts qui ont été utilisés pour définir la zone de coordination, peuvent eux aussi fonctionner dans la même gamme de fréquences. Il est donc possible pour l'administration effectuant la coordination d'identifier un contour supplémentaire en utilisant les méthodes du § 2 ou 3 de l'Annexe 1 si elles conviennent, ou d'autres méthodes agréées. Sous réserve de la conclusion d'un accord bilatéral entre les administrations concernées, ces contours supplémentaires peuvent jouer le rôle du contour de coordination pour un autre type de système de radiocommunication du même service ou d'un autre service de radiocommunication.

Pour établir un contour supplémentaire pour d'autres types de systèmes, par exemple des systèmes fixes numériques, on pourra trouver les paramètres systèmes nécessaires dans l'une des colonnes adjacentes des Tableaux 14, 15 et 16 de l'Annexe 2. En l'absence de paramètres systèmes appropriés, on peut calculer la valeur de la puissance de brouillage admissible ($P_r(p)$) à l'aide de l'équation (142).

Par ailleurs, l'administration recherchant la coordination peut établir des contours supplémentaires pour définir des zones plus petites, sur la base de méthodes plus détaillées, en vue de leur examen une fois un accord bilatéral conclu entre les administrations concernées. Ces contours peuvent être un outil précieux pour exclure rapidement les stations de Terre ou les stations terriennes de tout nouvel examen. Pour des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires, les contours supplémentaires peuvent être tracés selon la méthode définie au § 2.2.2 de l'Annexe 1.

Le contour supplémentaire est tracé sur une carte distincte, à partir du contour de coordination, et peut avoir son propre ensemble de contours auxiliaires (voir § 1.6.2). Les contours supplémentaires peuvent inclure les trajets de brouillage en mode de propagation (1) et, selon le scénario de partage, les trajets de brouillage en mode de propagation (2). En plus, l'élément mode de propagation (1) d'un contour supplémentaire peut, si cela se justifie pour le service de radiocommunication, utiliser le même facteur de correction (voir le § 4.4) que celui dont on s'est servi pour déterminer le contour de coordination. Toutefois, toutes les parties de chaque contour supplémentaire doivent être comprises entre le contour défini par la distance de coordination minimale et le contour principal correspondant en mode de propagation (1) ou en mode de propagation (2).

1.6.2 Contours auxiliaires

Comme cela a déjà été dit, la zone de coordination est établie à partir des hypothèses les plus défavorables concernant le partage, les trajets de brouillage et les contraintes d'exploitation. Toutefois, l'expérience pratique a montré que bien souvent la distance de séparation nécessaire pour la station terrienne effectuant la coordination, pour tout azimut, peut être nettement inférieure à la distance de coordination, étant donné que les hypothèses les plus défavorables ne s'appliquent pas à toutes les stations terriennes ou toutes les stations de Terre. La différence entre la distance de séparation et la distance de coordination tient à deux éléments:

- le gain d'antenne de la station de Terre (ou p.i.r.e.), ou le gain d'antenne de la station terrienne de réception, dans la direction de la station terrienne effectuant la coordination, est inférieur à celui supposé lors du calcul du contour de coordination;
- on peut prévoir une marge, par exemple pour tenir compte de l'effet d'écran qui n'est pas pris en compte dans les calculs de la distance de coordination.

Les contours auxiliaires sont tracés sur la carte utilisée pour le système de radiocommunication auquel ils s'appliquent (le contour principal ou un contour supplémentaire, selon le cas) et doivent utiliser la même méthode que celle utilisée pour déterminer le contour principal ou le contour supplémentaire correspondant. De plus, toutes les parties de chaque contour auxiliaire doivent être comprises entre le contour défini par la distance de coordination minimale et le contour principal ou supplémentaire correspondant. Avec les contours auxiliaires, on peut plus facilement exclure d'une coordination détaillée des stations terriennes ou des stations de Terre situées dans la zone de coordination, qui ont donc été identifiées comme pouvant être affectées par la station terrienne effectuant la coordination. Toute station de Terre ou station terrienne située en dehors d'un contour auxiliaire et dont le gain d'antenne en direction de la station terrienne effectuant la coordination est inférieur au gain représenté par le contour auxiliaire correspondant ne doit pas être considérée plus longtemps comme pouvant causer ou subir des brouillages importants.

1.6.2.1 Contours auxiliaires pour le mode de propagation (1)

On calcule ces contours selon la même méthode que celle utilisée pour le contour, principal ou supplémentaire, correspondant mais avec les valeurs de l'affaiblissement minimal nécessaire en mode de propagation (1) (voir équation (23)), lesquelles sont progressivement ramenées à 5, 10, 15, 20 dB, etc., en dessous de la valeur utilisée pour le contour, principal ou supplémentaire, correspondant en mode de propagation (1) jusqu'à ce qu'on l'atteigne la distance de coordination minimale. Les contours auxiliaires en mode de propagation (1) tiennent donc compte des cas où le gain d'antenne ou la p.i.r.e. des stations de Terre ou bien encore le gain d'antenne des stations terriennes de réception est inférieur à la valeur supposée dans les Tableaux 14, 15 et 16.

Les contours auxiliaires en mode de propagation (1) étant calculés sans facteur de correction (voir § 4.4), ils pourraient être supérieurs, pour tout azimut, au contour principal ou au contour supplémentaire correspondant en mode de propagation (1). Pour éviter qu'il en soit ainsi, dans les cas où on applique un facteur de correction au contour principal ou au contour supplémentaire, le contour auxiliaire maximal en mode de propagation (1), pour tout azimut, est limité au contour principal ou au contour supplémentaire correspondant en mode de propagation (1). En d'autres termes, le facteur de correction va limiter la fourchette possible des valeurs du contour auxiliaire, de façon à ce que seuls les contours auxiliaires ayant des valeurs supérieures au facteur de correction appliqué apparaissent à l'intérieur du contour principal ou supplémentaire (voir Fig. 3). Par exemple, si la valeur du facteur de correction applicable au contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (1) est de 10 dB, le premier contour auxiliaire tracé correspondra à une réduction de 5 dB de l'affaiblissement minimal nécessaire et la valeur du contour auxiliaire sera donc de -15 dB (par convention, les contours auxiliaires sont représentés comme des valeurs négatives car ils correspondent à une réduction du gain d'antenne de la station de Terre ou de la station terrienne de réception ou bien de la p.i.r.e. de la station de Terre).

Les effets de brouillage en mode de propagation (2) devront peut-être encore être pris en compte même si ceux en mode de propagation (1) ont été éliminés de la coordination détaillée car les modèles de propagation sont basés sur des mécanismes de brouillage différents.

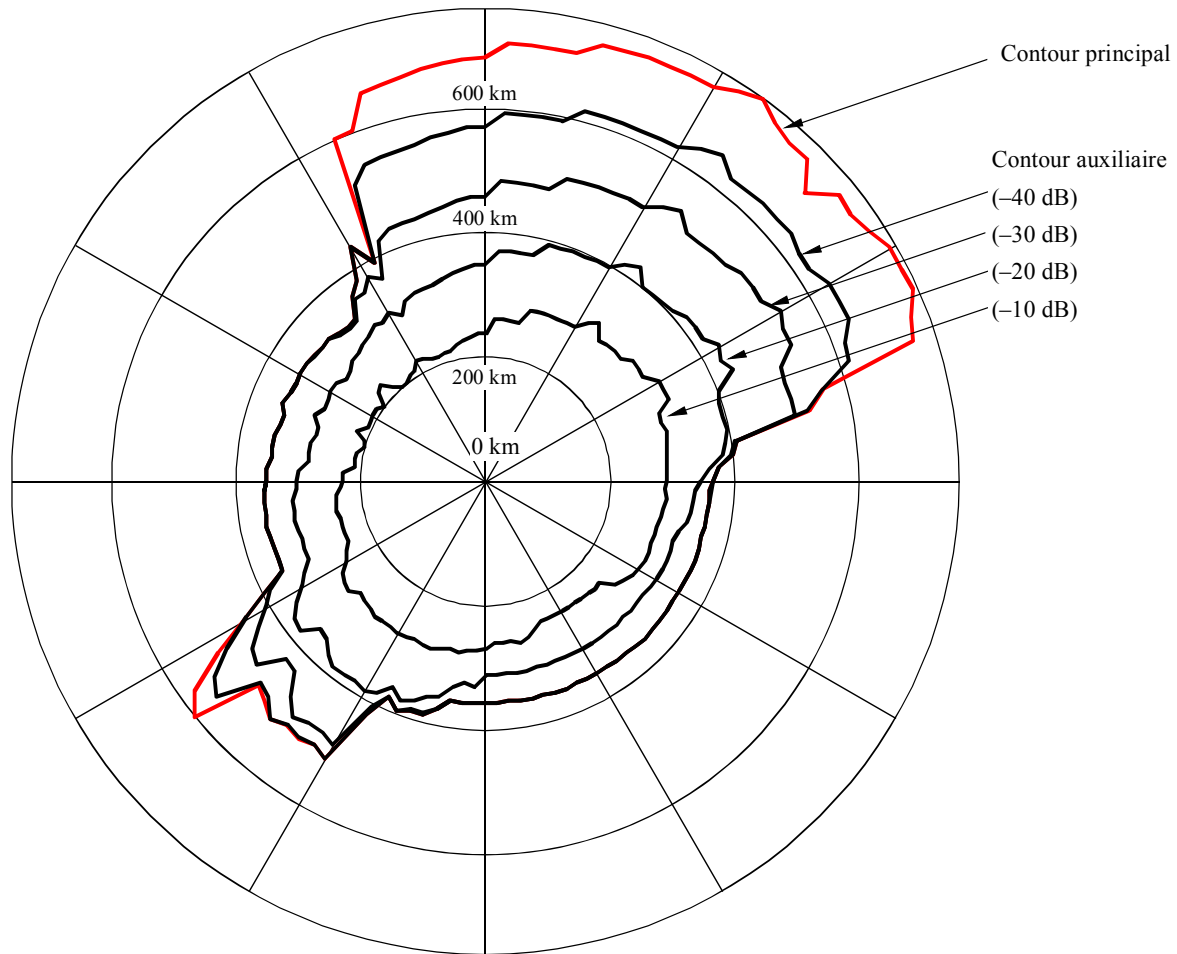
1.6.2.2 Contours auxiliaires pour le mode de propagation (2)

On calcule le contour en mode de propagation (2) autour d'une station terrienne en supposant que les faisceaux principaux de la station terrienne effectuant la coordination et de la station de Terre se recoupent exactement (voir § 1.3), mais ce cas de figure est peu vraisemblable. Il est donc possible de tracer des contours auxiliaires en mode de propagation (2) qui tiennent compte d'un décalage de pointage du faisceau de l'antenne de la station de Terre par rapport à la direction de la station terrienne effectuant la coordination. Ce décalage, se traduirait par une intersection partielle des faisceaux et des risques de brouillage moindres. On calcule ces contours auxiliaires en mode de propagation (2) selon la méthode décrite dans l'Appendice 7 de l'Annexe 1.

Les contours auxiliaires en mode de propagation (2) ne sont pas tracés pour différentes valeurs du gain d'antenne ou de la p.i.r.e. mais pour différentes valeurs de l'angle d'évitement du faisceau. Par conséquent, s'il faut tenir compte à la fois d'une valeur inférieure du gain d'antenne, ou de la p.i.r.e., pour la station de Terre et les contours auxiliaires en mode de propagation (2), il est indispensable d'évaluer l'incidence de la réduction du gain d'antenne ou de la p.i.r.e. sur le contour en mode de propagation (2). Pour ce faire, on trace un contour supplémentaire (§ 1.6.1) correspondant à la valeur inférieure du gain d'antenne ou de la p.i.r.e. pour la station de Terre. Dans ce cas, ce contour supplémentaire en mode de propagation (2) est tracé sur une carte distincte. Des contours auxiliaires en mode de propagation (2) peuvent alors être tracés à l'intérieur de ce contour supplémentaire en mode de propagation (2) pour différentes valeurs de l'angle d'évitement du faisceau. Par conséquent, les contours auxiliaires en mode de propagation (2) peuvent très fréquemment être utilisés avec un contour supplémentaire et non avec le contour de coordination.

Le facteur de correction examiné au § 1.3 ne s'applique pas aux trajets de brouillage et, par voie de conséquence, aux contours auxiliaires en mode de propagation (2). De plus, on ne peut pas tracer de contours auxiliaires en mode de propagation (2) dans le cas d'une attribution bidirectionnelle.

FIGURE 3

Contour principal et contours auxiliaires en mode de propagation (1)

Les contours auxiliaires en mode de propagation (1) sont indiqués pour des corrections de -10, -20, -30 et -40 dB de l'affaiblissement minimum nécessaire.

1448-03

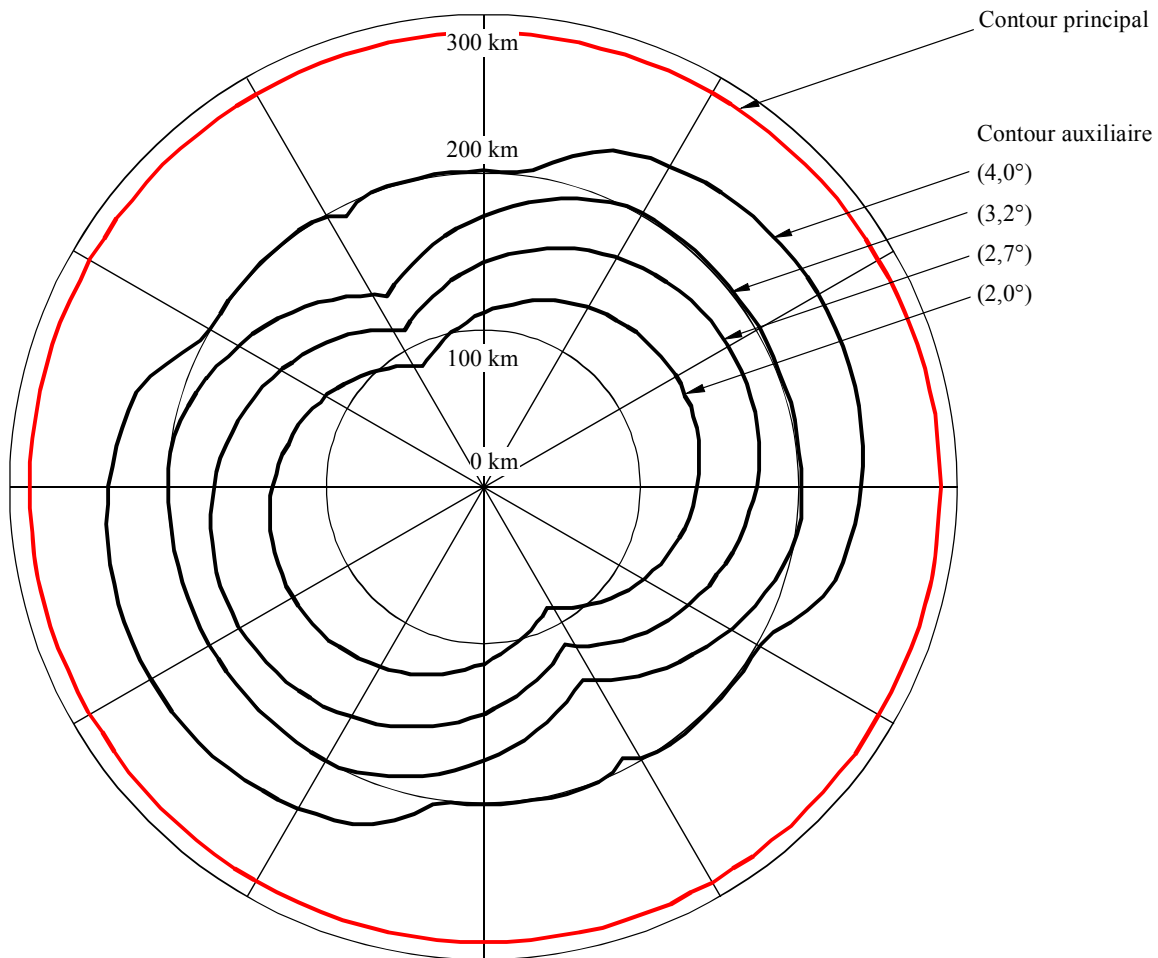
Des contours auxiliaires en mode de propagation (2) sont tracés pour différentes valeurs de l'angle d'évitement du faisceau principal de la station de Terre (voir Fig. 4). Lorsque les caractéristiques d'antenne des stations de Terre sont connues, il convient d'utiliser le diagramme d'antenne approprié (dans cette méthode, il faut que le diagramme d'antenne soit monotone en termes de réduction du gain de part et d'autre de l'axe du faisceau principal) pour déterminer les contours auxiliaires en mode de propagation (2). En l'absence d'un tel diagramme, on peut utiliser le diagramme d'antenne de référence donné au § 3 de l'Appendice 7 de l'Annexe 1.

2 Détermination de la zone de coordination d'une station terrienne vis-à-vis de stations de Terre

La présente section expose les procédures à utiliser pour déterminer la zone de coordination dans le cas de stations terriennes partageant des bandes de fréquences avec des stations de Terre. Ces procédures couvrent les cas de stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires ou non géostationnaires et sont décrites dans les paragraphes ci-après.

Pour des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires, il faut prendre en considération le fait que le gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon peut varier dans le temps.

FIGURE 4
Contour principal et contours auxiliaires en mode de propagation (2)



Les contours auxiliaires en mode de propagation (2) sont indiqués pour des angles d'évitement du faisceau principal de la station de Terre de 2,0°, 2,7°, 3,2° et 4,0°.

1448-04

2.1 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire, on considère que les valeurs de G_t et G_r en direction de l'horizon sont constantes dans le temps. Le pourcentage de temps associé à L_b dans l'équation (1) est le même que le pourcentage de temps p associé à $P_r(p)$. Pour déterminer la zone de coordination entre une station terrienne effectuant la coordination fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire et des systèmes de Terre, on retient comme distance de coordination, pour tout azimut, la distance nécessaire en mode de propagation (1) ou en mode de propagation (2), selon celle qui est la plus grande. Les distances nécessaires pour ces deux modes de propagation sont déterminées selon les procédures décrites respectivement au § 2.1.1 et § 2.1.2; on tient compte de la discussion ci-après concernant le maintien en position de la station.

Lorsque le maintien en position nord/sud d'une station spatiale géostationnaire est assoupli, l'orbite de cette station devient une orbite inclinée, l'inclinaison augmentant progressivement dans le temps. Vue depuis la Terre, la station spatiale décrit un 8 pendant chaque période de 24 heures. Ce mouvement de la station spatiale par rapport à sa position nominale peut nécessiter de petites corrections de l'angle d'élévation du faisceau de l'antenne de la station terrienne. Par conséquent, pour éviter de tenir compte de la variation dans le temps du gain de l'antenne en direction de l'horizon, on détermine la zone de coordination d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale sur orbite géostationnaire légèrement inclinée pour l'angle d'élévation minimal et l'azimut associé auquel la station spatiale est visible pour la station terrienne (voir Appendice 3 de l'Annexe 1).

Lorsque la station terrienne émet à destination de plusieurs stations spatiales sur orbites légèrement inclinées, il faut tenir compte de toutes les directions de pointage possibles de l'axe du faisceau principal de l'antenne. Toutefois, pour déterminer la zone de coordination, il suffit de prendre en compte une enveloppe délimitée par les excursions maximales en latitude et en longitude des points subsatellites des stations spatiales en tous les points potentiels sur le segment considéré le long de l'arc géostationnaire. La courbe de délimitation servant à déterminer l'angle hors axe minimal (c'est-à-dire la valeur minimale de l'angle formé par l'axe du faisceau principal et l'horizon) est basée sur l'inclinaison maximale de l'orbite qui sera autorisée pendant la durée d'exploitation des stations spatiales. L'utilisation d'une enveloppe de délimitation simplifiée le calcul de l'angle hors axe minimal. Elle n'exige pas non plus d'avoir les valeurs précises des emplacements des stations spatiales sur l'arc géostationnaire, d'autant plus que tous ces emplacements ne sont pas nécessairement connus d'avance et que certaines stations devront peut-être être repositionnées plus tard.

2.1.1 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) autour de la station terrienne effectuant la coordination

On détermine le contour en mode de propagation (1) à partir des mécanismes de propagation sur le grand cercle et on part de l'hypothèse que, pour le trajet de brouillage, toutes les stations de Terre pointent en direction de l'emplacement de la station terrienne effectuant la coordination. La distance nécessaire, pour chaque azimut, en mode de propagation (1), est la distance par laquelle la valeur de l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) sera égale à la valeur de l'affaiblissement minimal nécessaire en mode de propagation (1), $L_b(p)$ (dB), (voir § 1.3).

$$L_b(p) = P_t + G_e + G_x - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (4)$$

où:

P_t et $P_r(p)$: comme définis au § 1.3

G_e : gain de l'antenne de la station terrienne effectuant la coordination (dBi) en direction de l'horizon, pour l'angle d'élévation de l'horizon et l'azimut considérés

G_x : gain d'antenne maximal (dBi) supposé pour la station de Terre. Les Tableaux 14 et 15 donnent les valeurs de G_x pour les diverses bandes de fréquences.

La distance nécessaire en mode de propagation (1) est déterminée selon les procédures décrites au § 4 et les méthodes détaillées exposées dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1. Des directives particulières concernant l'application de ces procédures sont données au § 4.4.

2.1.2 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (2) autour de la station terrienne effectuant la coordination

La distance nécessaire, dans le cas d'une diffusion par les hydrométéores, est la distance pour laquelle l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (2) sera égal à l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (2) $L(p)$ défini dans l'équation (3). Cette distance nécessaire en mode de propagation (2) est déterminée selon les indications données au § 5 et les méthodes détaillées de l'Appendice 2 de la présente Annexe.

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire sur orbite légèrement inclinée, les contours de coordination en cas de diffusion par la pluie correspondant à chacune des deux positions orbitales les plus extrêmes du satellite sont déterminés individuellement en utilisant les angles d'élévation et leurs azimuts associés par rapport au satellite. La zone de diffusion par la pluie est la zone totale correspondant à la zone de chevauchement des deux contours de coordination.

Pour une station terrienne destinée à fonctionner avec des stations spatiales situées en différents points de l'orbite géostationnaire, les contours de coordination, en cas de diffusion par la pluie, pour la position la plus à l'est et la position la plus à l'ouest sur l'orbite sont déterminés individuellement. La zone de diffusion par la pluie est alors la zone totale correspondant à la zone de chevauchement des deux contours de coordination. Si l'une ou l'autre des stations spatiales ou les deux sont sur des orbites légèrement inclinées, on utilise alors les positions orbitales les plus extrêmes selon les cas.

2.2 Stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires

Pour des stations terriennes qui fonctionnent avec des stations spatiales non géostationnaires et qui «suivent» la station spatiale, le gain d'antenne en direction de l'horizon, pour tout azimut, varie dans le temps. Deux méthodes permettent de tenir compte de ce phénomène, et sont décrites ci-après:

- la méthode, dite du gain ne variant pas dans le temps (TIG, *time invariant gain*), (voir § 2.2.1); et
- la méthode, dite du gain variant dans le temps (TVG, *time variant gain*), (voir § 2.2.2).

La méthode TIG est utilisée pour déterminer le contour de coordination. Elle est facile à mettre en oeuvre car on n'a pas besoin d'avoir la distribution des valeurs du gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon. Conséquence de cette simplification, cette méthode surestime en général la distance nécessaire. Pour alléger le fardeau de la coordination et sur la base d'accords bilatéraux ou multilatéraux, les administrations peuvent utiliser la méthode TVG pour tracer les contours supplémentaires et obtenir des résultats moins prudents.

En comparaison avec la méthode TIG, la méthode TVG donne habituellement des distances plus petites mais suppose un plus gros travail pour déterminer la distribution cumulative du gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon pour chaque azimut considéré.

Dans le cas d'une station terrienne de réception, la puissance brouilleuse admissible $P_r(p)$ est rapportée au pourcentage de temps pendant lequel le récepteur est effectivement en service et au temps total qui s'est écoulé. Le pourcentage de temps, p , est indiqué pour toute la durée que la station terrienne de réception est censée consacrer à la réception de signaux en provenance de stations spatiales non géostationnaires uniquement à l'exclusion de stations spatiales géostationnaires.

Pour le gain en direction de l'horizon de l'antenne d'une station terrienne d'émission ou de réception, on ne prend en considération que les valeurs du gain en direction de l'horizon pendant la durée d'exploitation. Pour élaborer les distributions cumulatives du gain en direction de l'horizon, dans le cas de la méthode TVG, les pourcentages de temps sont des pourcentages de temps d'exploitation. Il peut donc y avoir des périodes ou des pourcentages de temps pendant lesquels aucun gain en direction de l'horizon n'est spécifié, ce qui ne pose pas de problème pour la mise en oeuvre de l'une ou l'autre méthode, décrites dans le présent paragraphe, et tient compte de la puissance de brouillage admissible pour les stations de réception inconnues indiquée dans le Tableau 14 et des puissances de brouillage admissibles pour les stations terriennes de réception examinées au paragraphe précédent (Tableau 15).

Les distributions du gain d'antenne en direction de l'horizon sont établies sur la base des données de l'Appendice 4 de l'Annexe 1. On peut utiliser des diagrammes de rayonnement d'antenne de référence ou mesurés (voir ceux décrits dans l'Appendice 3 de l'Annexe 1).

2.2.1 Détermination de la zone de coordination selon la méthode TIG

La méthode TIG utilise des valeurs fixes du gain d'antenne qui sont basées sur la variation maximale supposée du gain d'antenne en direction de l'horizon pour chaque azimut considéré. Les valeurs de ce gain définies ci-après sont utilisées pour chaque azimut lorsqu'on applique l'équation (4) pour déterminer les distances nécessaires en mode de propagation (1).

$$\begin{aligned} G_e &= G_{max} && \text{pour} && (G_{max} - G_{min}) \leq 20 \text{ dB} \\ G_e &= G_{min} + 20 && \text{pour} && 20 \text{ dB} < (G_{max} - G_{min}) < 30 \text{ dB} \\ G_e &= G_{max} - 10 && \text{pour} && (G_{max} - G_{min}) \geq 30 \text{ dB} \end{aligned} \quad (5)$$

où:

- G_e : gain de l'antenne de la station terrienne effectuant la coordination (dBi) en direction de l'horizon, relevé à l'angle d'élévation de l'horizon et à l'azimut considéré dans l'équation (4)
- G_{max}, G_{min} : valeurs maximale et minimale, respectivement, du gain d'antenne en direction de l'horizon (dBi), relevées à l'azimut considéré.

Les valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon, pour l'azimut considéré, sont obtenues à partir du diagramme d'antenne et de l'espacement angulaire maximal et minimal de l'axe du faisceau principal de l'antenne par rapport à la direction de l'horizon physique, à l'azimut considéré.

Lorsqu'une valeur unique de l'angle d'élévation minimal pour l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne est spécifiée pour tous les azimuts, les valeurs minimale et maximale du gain en direction de l'horizon peuvent être déterminées, pour chaque azimut considéré, à partir du diagramme de rayonnement de l'antenne et de l'angle d'élévation de l'horizon à cet azimut. Le tracé de la courbe de l'angle d'élévation en direction de l'horizon en fonction de l'azimut est appelé profil d'horizon de la station terrienne.

D'autres limitations peuvent intervenir dans la détermination des valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon dans le cas d'une station terrienne fonctionnant avec une constellation de satellites non géostationnaires à une latitude à laquelle aucun satellite n'est visible à l'angle d'élévation minimal spécifié de la station terrienne, sur toute une gamme d'azimuts. Sur cette gamme d'azimuts, l'angle d'élévation minimal de l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne est donné par l'angle d'élévation minimal auquel tout satellite de la constellation est visible à cet azimut. La relation de dépendance entre l'azimut et l'angle d'élévation minimal de visibilité

des satellites peut être déterminée à partir de l'altitude de l'orbite et de l'inclinaison des satellites de la constellation, sans qu'il soit nécessaire de recourir à une simulation (voir la procédure du § 1.1 de l'Appendice 4 de la présente Annexe). Dans ce cas, le gain d'antenne en direction de l'horizon à utiliser dans la méthode TIG dépend du profil de l'angle d'élévation minimal composite. Cet angle, pour tout azimut, est, soit l'angle d'élévation minimal de visibilité des satellites à l'azimut considéré, soit l'angle d'élévation minimal spécifié pour la station terrienne, lequel est indépendant de l'azimut, selon celui qui est le plus grand.

Ainsi, pour chaque azimut considéré, le gain d'antenne maximal en direction de l'horizon sera déterminé à partir de la valeur minimale de l'espacement angulaire entre le profil d'horizon de la station terrienne à cet azimut et le profil de l'angle d'élévation minimal composite. De même, le gain d'antenne minimal en direction de l'horizon sera déterminé à partir de la valeur maximale de l'espacement angulaire entre le profil d'horizon de la station terrienne à cet azimut et le profil de l'angle d'élévation minimal composite. La méthode permettant de calculer l'espacement angulaire minimal et maximal par rapport au profil de l'angle d'élévation minimal composite est donnée au § 1.2 de l'Appendice 4 de la présente Annexe.

La distance nécessaire en mode de propagation (1) est alors déterminée selon les procédures décrites au § 4 et les méthodes détaillées de l'Appendice 4 de la présente Annexe. Des directives particulières concernant l'application des calculs de propagation sont données au § 4.4.

2.2.2 Détermination de la zone de coordination selon la méthode TVG

Pour la méthode TVG, il faut avoir la distribution cumulative du gain d'antenne en direction de l'horizon, variant dans le temps, d'une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire. Cette méthode se rapproche beaucoup de la convolution de la distribution du gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon et de l'affaiblissement sur le trajet en mode de propagation (1). Elle peut donner des distances légèrement plus petites que celles obtenues avec une convolution idéale. Une telle convolution ne peut pas être mise en oeuvre en raison des limitations du modèle actuel pour le mode de propagation (1). La distance nécessaire en mode de propagation (1), à l'azimut considéré, est prise comme étant la distance la plus grande résultant d'un ensemble de calculs dont chacun est basé sur l'équation (4). Par commodité dans ces calculs, on peut réécrire l'équation (4) pour le $n^{\text{ième}}$ calcul sous la forme suivante:

$$L_b(p_v) - G_e(p_n) = P_t + G_x - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (6)$$

avec la contrainte que:

$$p_v = \begin{cases} 100 p / p_n & \text{pour } p_n \geq 2p \\ 50 & \text{pour } p_n < 2p \end{cases} \quad \%$$

où:

- $P_t, P_r(p)$: sont les valeurs définies dans les équations du § 1.3 où p est le pourcentage de temps associé à la puissance brouilleuse admissible $P_r(p)$
- G_x : gain d'antenne maximal supposé pour la station de Terre (dBi). Les Tableaux 14 et 15 de l'Annexe 2 donnent les valeurs de G_x pour les diverses bandes de fréquences
- $G_e(p_n)$: gain de l'antenne de la station terrienne effectuant la coordination en direction de l'horizon (dBi) qui est dépassé pendant $p_n\%$ du temps, à l'azimut considéré
- $L_b(p_v)$: affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1) (dB) pendant $p_v\%$ du temps; cet affaiblissement doit être dépassé par l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) pendant tous les pourcentages de temps sauf $p_v\%$.

Les valeurs des pourcentages de temps, p_n , à utiliser dans l'équation (6) sont déterminées à partir de la distribution cumulative du gain de l'horizon. Cette distribution doit être établie pour un ensemble prédéterminé de valeurs du gain en direction de l'horizon couvrant la plage des valeurs minimales à maximales pour l'azimut considéré. $G_e(p_n)$ est la valeur du gain en direction de l'horizon pour laquelle le complément de la distribution cumulative du gain en direction de l'horizon a la valeur correspondant au pourcentage de temps p_n . La valeur p_n est le pourcentage de temps pendant lequel le gain en direction de l'horizon dépasse la $n^{\text{ième}}$ valeur du gain en direction de l'horizon. On peut utiliser la procédure prévue au § 2 de l'Appendice 4 pour élaborer cette distribution.

Pour chaque valeur de p_n , la valeur du gain d'antenne en direction de l'horizon pour ce pourcentage de temps, $G_e(p_n)$, est utilisée dans l'équation (6) pour déterminer l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1). L'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) ne doit dépasser cet affaiblissement nécessaire en mode de propagation (1) que pendant au plus $p_v\%$ du temps, comme indiqué dans l'équation (6). Une série de distances en mode de propagation (1) est alors établie à l'aide des procédures décrites au § 4, et des méthodes détaillées de l'Appendice 1 de la présente Annexe. Des directives particulières concernant l'application des calculs de propagation sont données au § 4.4.

La distance nécessaire en mode de propagation (1) est alors la distance maximale de la série de distances en mode de propagation (1) obtenues pour une valeur de p_n , sous réserve de la contrainte appliquée à l'équation (6). Une description détaillée de la méthode qui consiste à utiliser l'équation (6) pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1) est donnée à l'Appendice 5 de la présente Annexe.

3 Détermination de la zone de coordination entre stations terriennes fonctionnant dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

La présente section décrit les procédures à utiliser pour déterminer la zone de coordination pour une station terrienne émettant dans une bande de fréquences attribuée à des services spatiaux à la fois dans le sens Terre vers espace et le sens espace vers Terre.

Il existe divers scénarios de coordination faisant intervenir uniquement des gains d'antenne ne variant pas dans le temps ou uniquement des gains d'antenne variant dans le temps (les deux stations terriennes fonctionnent avec des stations spatiales non géostationnaires) ou bien encore un gain d'antenne variant dans le temps et un gain d'antenne ne variant pas dans le temps.

On trouvera ci-après une description des méthodes permettant de déterminer la zone de coordination propres à chacun de ces cas d'utilisation bidirectionnelle. Les procédures applicables au scénario de coordination où les deux stations terriennes fonctionnent avec des stations spatiales géostationnaires sont données au § 3.1. Les autres scénarios de coordination en cas d'attribution bidirectionnelle sont examinés au § 3.2, l'accent étant mis sur les formules qui utilisent le gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon, pour chacun des scénarios de coordination possibles dans la procédure du § 2.

Le Tableau 16 donne les paramètres à utiliser pour déterminer la zone de coordination et indique également si, dans chaque bande, les stations terriennes de réception fonctionnent avec des stations spatiales géostationnaires ou non géostationnaires. Dans certaines bandes, les stations terriennes de réception peuvent fonctionner à la fois avec des stations spatiales géostationnaires et non géostationnaires. Le Tableau 2 indique le nombre de contours de coordination qui doivent être tracés pour chaque scénario de coordination et la (les) section(s) où figurent les méthodes de calcul applicables. Une fois tracé, chaque contour de coordination doit être désigné correctement.

TABLEAU 2

Contours de coordination nécessaires pour chaque scénario d'attribution bidirectionnelle

Station terrienne effectuant la coordination fonctionnant avec une station spatiale sur	Station terrienne de réception inconnues fonctionnant avec des stations spatiales sur	Paragraphe où est indiquée la méthode permettant de déterminer G_t et G_r	Contours nécessaires	
			N°	Observations détaillées
Orbite géostationnaire	Orbite géostationnaire	§ 3.1	1	Un contour de coordination comprenant à la fois les contours en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2)
	Orbite non géostationnaire	§ 3.2.1	1	Un contour de coordination en mode de propagation (1)
	Orbites géostationnaires ou non géostationnaires ⁽¹⁾	§ 3.1.1 et 3.2.1	2	Deux contours de coordination distincts, un pour l'orbite géostationnaire (contours en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2)) et un pour l'orbite non géostationnaire (contour en mode de propagation (1))
Orbite non géostationnaire	Orbite géostationnaire	§ 3.2.2	1	Un contour de coordination en mode de propagation (1).
	Orbite non géostationnaire	§ 3.2.3	1	Un contour de coordination en mode de propagation (1)
	Orbites géostationnaires ou non géostationnaires ⁽¹⁾	§ 3.2.2 et 3.2.3	2	Deux contours de coordination distincts en mode de propagation (1), un pour l'orbite géostationnaire et un pour l'orbite non géostationnaire

⁽¹⁾ Dans ce cas, la bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission peut contenir des attributions dans le sens Terre vers espace pour les stations spatiales géostationnaires et non géostationnaires. Par conséquent, l'administration effectuant la coordination ne saura pas si des stations terriennes de réception inconnues fonctionnent avec des stations spatiales géostationnaires ou non géostationnaires.

3.1 Stations terriennes effectuant la coordination et stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

Lorsque à la fois la station terrienne effectuant la coordination et les stations terriennes inconnues fonctionnent avec des stations spatiales géostationnaires, il faut élaborer un contour de coordination comprenant à la fois des contours en mode de propagation (1) et en mode de propagation (2), selon les procédures décrites respectivement aux § 3.1.1 et 3.1.2.

3.1.1 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) autour de la station terrienne effectuant la coordination

La méthode permettant de déterminer le contour en mode de propagation (1) dans ce cas est différente de celle décrite au § 2.2.1 sur deux points. Premièrement, les paramètres à utiliser pour la station terrienne de réception inconnue sont ceux figurant dans le Tableau 16 de l'Annexe 2. Deuxièmement, et ceci est plus important, le fait de savoir que les deux stations terriennes fonctionnent avec des satellites géostationnaires peut être utilisé pour calculer la valeur la plus défavorable du gain d'antenne à l'horizon de la station terrienne de réception en direction de la station terrienne d'émission pour chaque azimut à partir de la station terrienne d'émission. La distance nécessaire en mode de propagation (1) correspond à la valeur de l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1) égale à l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1) $L_b(p)$ (dB) (voir § 1.3), répété ici par commodité.

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (7)$$

où:

P_t et $P_r(p)$: valeurs définies au § 1.3

- G_t : gain de l'antenne de la station terrienne (d'émission) effectuant la coordination en direction de l'horizon (dBi), pour l'angle d'élévation de l'horizon et l'azimut considérés
- G_r : gain à l'horizon de l'antenne de la station terrienne de réception inconnue dans la direction de la station terrienne d'émission effectuant la coordination sur l'azimut spécifié. Les valeurs sont déterminées selon la procédure définie au § 2.1 de l'Appendice 6 de la présente Annexe, sur la base des paramètres et du Tableau 16.

Pour déterminer plus facilement les valeurs de G_r à utiliser à un azimut depuis la station terrienne d'émission, on doit faire plusieurs approximations simplificatrices:

- l'angle d'élévation de la station terrienne réceptrice en direction de l'horizon est de zéro degré pour tous les azimuts;
- la station terrienne de réception fonctionne avec une station spatiale dont l'inclinaison de l'orbite est de zéro degré et qui peut être située en n'importe quel point de l'orbite géostationnaire au-dessus de l'angle d'élévation minimal (Tableau 16), pour l'emplacement de la station terrienne de réception;
- la latitude de la station terrienne de réception est la même que celle de la station terrienne d'émission;
- on peut utiliser une géométrie plane plutôt que le trajet du grand cercle pour établir une relation entre les azimuts pour les différentes stations terriennes.

Les trois premières hypothèses servent de base pour déterminer le gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon, pour tous les azimuts. L'hypothèse d'un angle d'élévation de l'horizon de 0° est prudente puisque l'augmentation du gain d'antenne en direction de l'horizon due à un horizon élevé serait en pratique plus que compensée par tout effet d'écran réel. (On ne peut supposer aucun effet d'écran pour la station terrienne de réception mais on prend en considération l'effet d'écran qui peut exister au niveau de la station terrienne d'émission en tenant compte de l'angle d'élévation de l'horizon, conformément au § 1 de l'Appendice 1 à la présente Annexe). Les deux dernières hypothèses simplifient le calcul de la somme G_t plus G_r pour tout azimut. Etant donné que les distances nécessaires en mode de propagation (1) sont petites, ces approximations peuvent en termes géométriques globaux introduire une légère erreur dans la détermination du gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon, laquelle n'excédera pas 2 dB. Compte tenu de l'hypothèse d'une géométrie plane, pour un azimut donné mesuré au niveau de la station terrienne de réception, la valeur du gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon est la valeur relevée à l'azimut opposé (c'est-à-dire $\pm 180^\circ$, voir § 2.1 de l'Appendice 6 de la présente Annexe) au niveau de la station terrienne de réception.

La distance nécessaire en mode de propagation (1) est alors déterminée en utilisant les procédures décrites au § 4 et les méthodes détaillées de l'Appendice 1 de la présente Annexe. Des directives particulières concernant l'application des calculs de propagation sont données au § 4.4.

3.1.2 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (2) autour de la station terrienne effectuant la coordination

La méthode permettant de déterminer le contour en mode de propagation (2) autour d'une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire utilise les mêmes approximations simplificatrices que celles faites au § 3.1.1, mais se fonde sur une construction géométrique qui fait l'économie d'un modèle de propagation complexe (voir § 3 de l'Appendice 6 de la présente Annexe). Les contours auxiliaires ne peuvent être utilisés dans cette méthode car les calculs ne sont pas fondés sur l'affaiblissement nécessaire en mode de propagation (2).

Le contour en mode de propagation (2) est déterminé à l'aide de l'angle d'élévation et de l'azimut en direction de la station spatiale à partir de la station terrienne d'émission effectuant la coordination, avec les deux considérations suivantes:

- la distance de coordination minimale (voir § 4.2) qui sera la distance nécessaire pour certains azimuts;
- une distance nécessaire correspondant au cas le plus défavorable, déterminé par la géométrie de la diffusion par les hydrométéores, pour une station terrienne de réception située dans l'un des deux secteurs d'azimut de 6° . A l'intérieur de ces secteurs, on suppose que la station terrienne de réception fonctionne à l'angle d'élévation minimal par rapport à une station spatiale géostationnaire et que son faisceau principal coupe le faisceau de la station terrienne d'émission effectuant la coordination au point où le faisceau de cette dernière traverse la hauteur de pluie, h_R . Même si le phénomène de diffusion peut se produire en tout point entre la station terrienne effectuant la coordination et ce point, l'intersection des deux faisceaux à ce point correspond au scénario de brouillage le plus défavorable. On obtient donc la distance nécessaire la plus défavorable pour les stations terriennes de réception situées dans les deux secteurs d'azimut.

Pour une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale sur orbite inclinée, on utilise dans les calculs l'angle d'élévation de l'antenne minimal attendu et l'azimut associé.

Le contour en mode de propagation (2) est déterminé à l'aide de la méthode décrite au § 3 de l'Appendice 6 de l'Annexe 1.

3.2 Stations terriennes effectuant la coordination ou stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires

Dans les cas où une station terrienne (d'émission) effectuant la coordination fonctionne avec des stations spatiales non géostationnaires, on suppose ci-après que la station terrienne poursuit la station spatiale (sinon voir § 1.4.2).

Lorsque la station terrienne de réception fonctionne avec une ou des stations spatiales non géostationnaires, on ne peut qu'identifier un gain en direction de l'horizon ne variant pas dans le temps que l'on utilisera pour tous les azimuts pour déterminer la zone de coordination (méthode décrite au § 2.2.1).

Le Tableau 16 donne les valeurs du gain d'antenne en direction de l'horizon à utiliser dans les calculs.

On aura besoin d'une ou de plusieurs des trois procédures pour déterminer les contours de coordination nécessaires en mode de propagation (1) (Tableau 2). Les contours en mode de propagation (2) ne sont pas nécessaires pour tous les cas où les stations terriennes fonctionnent avec des stations spatiales sur orbites non géostationnaires.

3.2.1 La station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec une station spatiale géostationnaire vis-à-vis de stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires

Lorsque la station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec une station spatiale géostationnaire et que les stations terriennes inconnues fonctionnent avec des stations spatiales non géostationnaires, la zone de coordination en mode de propagation (1) est déterminée selon les procédures décrites au § 2.1.1. La seule modification consiste à utiliser le gain d'antenne en direction de l'horizon, G_r , de la station terrienne de réception inconnue en lieu et place du gain d'antenne de la station de Terre, G_x . Les valeurs de ce gain et les paramètres de système appropriés sont donnés dans le Tableau 16.

3.2.2 La station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec une station spatiale non géostationnaire vis-à-vis de stations terriennes inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

Lorsque la station terrienne effectuant la coordination fonctionne avec des stations spatiales non géostationnaires et que les stations terriennes inconnues fonctionnent avec des stations spatiales géostationnaires, le gain d'antenne de la station terrienne de réception inconnue en direction de l'horizon, G_r , est déterminé à l'aide des approximations simplificatrices du § 3.1.1 (voir § 2.1 de l'Appendice 6 de l'Annexe 1) et des paramètres du Tableau 16. Pour déterminer la zone de coordination en mode de propagation (1) on suit alors la procédure du § 2.2, c'est-à-dire qu'on utilise le gain de la station terrienne de réception en direction de l'horizon pour chaque azimut considéré et les paramètres de système du Tableau 16.

3.2.3 La station terrienne effectuant la coordination et la station terrienne inconnue fonctionnent toutes les deux avec des stations spatiales non géostationnaires

Lorsque la station terrienne effectuant la coordination et les stations terriennes inconnues fonctionnent avec des stations spatiales non géostationnaires, la zone de coordination en mode de propagation (1) est déterminée selon la méthode décrite au § 2.2. La seule modification consiste à utiliser le gain d'antenne de la station terrienne de réception inconnue en direction de l'horizon, G_r , en lieu et place du gain d'antenne de la station de Terre. Les valeurs de ce gain et les paramètres de système sont donnés dans le Tableau 16.

4 Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1)

Pour déterminer les distances nécessaires en mode de propagation (1) la gamme de fréquences applicable a été subdivisée en trois. Les calculs de propagation pour les bandes des ondes métriques et décimétriques (100 MHz et 790 MHz) sont basés sur les courbes de l'affaiblissement prévu sur le trajet en mode de propagation (1). Entre 790 MHz et 60 GHz, on utilise les modèles de propagation par diffusion troposphérique, phénomène de conduit et par réfraction/réflexion par les couches. Jusqu'à 105 GHz, le modèle est basé sur l'affaiblissement en espace libre et une hypothèse prudente pour l'absorption gazeuse. La gamme possible des pourcentages de temps est différente selon le modèle de propagation.

Une fois tenu compte de l'effet d'écran (voir § 1 de l'Appendice 1 de l'Annexe 1), pour la station terrienne effectuant la coordination uniquement, on utilise pour déterminer les distances nécessaires en mode de propagation (1):

- la méthode décrite au § 2 de l'Appendice 1 (fréquences comprises entre 100 MHz et 790 MHz);

- la méthode décrite au § 3 de l'Appendice 1 (fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz);
- la méthode décrite au § 4 de l'Appendice 1 (fréquences comprises entre 60 GHz et 105 GHz).

Les trois méthodes visées ci-dessus sont basées sur la valeur de l'affaiblissement nécessaire minimale en mode de propagation (1), laquelle est déterminée en fonction des paramètres systèmes des Tableaux 14, 15 et 16.

4.1 Information sur les zones radioclimatiques

Pour calculer la distance nécessaire en mode de propagation (1), le monde a été divisé en zones radiométéorologiques représentant des conditions de propagation anormales par atmosphère claire. Le pourcentage de temps, β_e , pendant lequel ces conditions existent, dépend de la latitude et s'exprime par la formule suivante:

$$\beta_e = \begin{cases} 10^{1,67-0,015\zeta_r} & \text{pour } \zeta_r \leq 70^\circ & (8) \\ 4,17 & \text{pour } \zeta_r > 70^\circ & (9) \end{cases}$$

avec:

$$\zeta_r = \begin{cases} \left[|\zeta| - 1,8 \right] & \text{pour } |\zeta| > 1,8^\circ & (10) \\ 0 & \text{pour } |\zeta| \leq 1,8^\circ & (11) \end{cases}$$

où ζ est la latitude (degrés) de l'emplacement de la station terrienne.

Pour les fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz, on utilise pour les calculs en mode de propagation (1) la réfractivité au niveau de la mer au centre du trajet, N_0 , qui est calculée comme suit:

$$N_0 = 330 + 62,6 e^{-\left(\frac{\zeta-2}{32,7}\right)^2} \quad (12)$$

4.2 Distance de coordination minimale pour les modes de propagation (1) et (2)

La distance de coordination minimale est calculée en deux temps. On calcule tout d'abord la distance d_x en utilisant:

$$d_x = 100 + \frac{(\beta_e - 40)}{2} \quad \text{km} \quad (13)$$

où β_e est donné au § 4.1.

On calcule ensuite la distance de coordination minimale pour toute fréquence, f (GHz) comprise entre 100 MHz et 105 GHz en utilisant les équations:

$$d_{min} = \begin{cases} 100 + \frac{(\beta_e - f)}{2} & \text{km} & \text{pour} & f < 40 \text{ GHz} & (14) \\ \frac{(54 - f)d_x + 10(f - 40)}{14} & \text{km} & \text{pour} & 40 \text{ GHz} \leq f < 54 \text{ GHz} & (15) \\ 10 & \text{km} & \text{pour} & 54 \text{ GHz} \leq f < 66 \text{ GHz} & (16) \\ \frac{10(75 - f) + 45(f - 66)}{9} & \text{km} & \text{pour} & 66 \text{ GHz} \leq f < 75 \text{ GHz} & (17) \\ 45 & \text{km} & \text{pour} & 75 \text{ GHz} \leq f < 90 \text{ GHz} & (18) \\ 45 - \frac{(f - 90)}{1,5} & \text{km} & \text{pour} & 90 \text{ GHz} \leq f \leq 105 \text{ GHz} & (19) \end{cases}$$

La distance, à partir de laquelle on commence tous les calculs par itération (pour le mode de propagation (1) et le mode de propagation (2)), est la distance de coordination minimale, d_{min} , donnée dans les équations (14) à (19).

4.3 Distance de coordination maximale pour le mode de propagation (1)

Dans le calcul par itération décrit dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1, il faut fixer une limite supérieure, d_{max1} , à la distance de coordination pour le mode de propagation (1).

Pour les fréquences inférieures ou égales à 60 GHz et pour des trajets de propagation se situant à l'intérieur d'une seule et même zone, la distance ne doit pas dépasser la distance de coordination maximale donnée dans le Tableau 3 pour cette zone.

Pour des trajets mixtes, la distance nécessaire peut être la somme d'une ou de plusieurs contributions des Zones A1, A2, B et C. La distance totale pour une zone quelconque ne doit pas dépasser la valeur donnée dans le Tableau 3. La distance nécessaire totale ne doit pas excéder la valeur indiquée dans le Tableau 3 pour la zone du trajet mixte qui a la valeur la plus élevée. Un trajet situé à la fois dans les zones A1 et A2 ne doit donc pas dépasser 500 km.

TABLEAU 3

**Distances de coordination maximale pour le mode de propagation (1),
pour les fréquences inférieures à 60 GHz**

Zone	d_{max1} (km)
A1	500
A2	375
B	900
C	1 200

Pour les fréquences supérieures à 60 GHz, la distance de coordination maximale, d_{max1} , est donnée par l'équation suivante:

$$d_{max1} = 80 - 10 \log \left(\frac{P}{50} \right) \quad (20)$$

où p est défini au § 1.3.

4.4 Directives concernant l'application des procédures pour le mode de propagation (1)

Comme cela a déjà été dit au § 1.3 dans les cas où les stations terriennes partagent des bandes de fréquences avec des stations de Terre, il y a lieu d'appliquer un facteur de correction, C_i (dB), aux hypothèses les plus défavorables concernant les paramètres de système et la géométrie du trajet de brouillage, car il est irréaliste de supposer que toutes les valeurs les plus défavorables se présenteront simultanément, lors du calcul des distances nécessaires en mode de propagation (1).

Les caractéristiques des systèmes de Terre dépendent de la bande de fréquences et la valeur du facteur de correction à appliquer suit la relation de dépendance en fonction de la fréquence donnée dans l'équation (21). Entre 100 MHz et 400 MHz et entre 60 GHz et 105 GHz, le partage de fréquences entre stations terriennes et systèmes de Terre est récent; par conséquent, on dispose de peu de données d'expérience ou de possibilités d'analyser des systèmes opérationnels. La valeur du facteur de correction est donc de 0 dB dans ces bandes. Entre 400 MHz et 790 MHz et entre 4,2 GHz et 60 GHz, la valeur du facteur de correction est réduite proportionnellement au logarithme de la fréquence comme indiqué dans l'équation (21).

La valeur du facteur nominal de correction à utiliser pour toute fréquence f (GHz) est donc donnée par l'équation:

$$X(f) = \begin{cases} 0 & \text{dB} & \text{pour} & f \leq 0,4 \text{ GHz} \\ 3,3833X(\log f + 0,3979) & \text{dB} & \text{pour} & 0,4 \text{ GHz} < f \leq 0,79 \text{ GHz} \\ X & \text{dB} & \text{pour} & 0,79 \text{ GHz} < f \leq 4,2 \text{ GHz} \\ -0,8659X(\log f - 1,7781) & \text{dB} & \text{pour} & 4,2 \text{ GHz} < f \leq 60 \text{ GHz} \\ 0 & \text{dB} & \text{pour} & f > 60 \text{ GHz} \end{cases} \quad (21)$$

où:

X : est de 15 dB pour une station terrienne d'émission et de 25 dB pour une station terrienne de réception.

En principe, la valeur du facteur nominal de correction, $X(f)$, est indépendante de la distance et du trajet. Toutefois, le risque de brouillage sur les distances courtes pose un certain nombre de problèmes et il n'y a pas lieu d'appliquer la totalité du facteur nominal de correction à ces distances. Le facteur de correction, C_i , est donc appliqué proportionnellement à la distance, pour l'azimut considéré, en commençant à 0 dB pour d_{min} , en sorte que la valeur totale de $X(f)$ corresponde à une distance nominale de 375 km depuis la station terrienne.

Ainsi, la correction est appliquée en utilisant la constante de correction $Z(f)$ (dB/km) où:

$$Z(f) = \frac{X(f)}{375 - d_{min}} \quad \text{dB/km} \quad (22)$$

Le facteur de correction C_i (dB) est calculé dans les équations (29b) et (53) à partir de la constante de correction $Z(f)$ (dB/km).

Pour des distances de plus de 375 km, on applique le facteur de correction, C_i , correspondant à une distance de 375 km.

De plus, on applique la valeur la plus élevée du facteur de correction uniquement pour des trajets terrestres. Le facteur est de 0 dB pour tous les trajets entièrement maritimes. Une certaine proportion du facteur de correction est appliquée pour les trajets mixtes. L'importance de la correction à appliquer à tel ou tel trajet est fonction des paramètres de description du trajet utilisés pour les calculs en mode de propagation (1) (facteurs de correction C_i et C_{2i} respectivement aux § 2 et 3 de l'Appendice 1 de l'Annexe 1). Etant donné qu'il dépend de la distance, le facteur de correction est appliqué automatiquement dans les calculs par itération utilisés pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1) (voir l'Appendice 1 de l'Annexe 1).

Le facteur de correction ne s'applique pas dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission; on détermine donc le contour de coordination comme suit:

$$Z(f) = 0 \quad \text{dB/km}$$

Pour déterminer les contours auxiliaires en mode de propagation (1), on remplace dans l'équation (1) l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1) $L_b(p)$ pendant $p\%$ du temps (voir § 1.3), équation (1) par:

$$L_{bq}(p) = L_b(p) + Q \quad \text{dB} \quad (23)$$

où:

Q : valeur du contour auxiliaire (dB).

A noter que les valeurs des contours auxiliaires sont supposées être négatives (c'est-à-dire -5 , -10 , -15 , -20 dB, etc.).

5 Considérations générales pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (2)

En cas de diffusion par les hydrométéores (par exemple, diffusion par la pluie) on détermine le contour à partir de la géométrie du trajet qui est sensiblement différente de celle des mécanismes de propagation sur le grand cercle. Le phénomène de diffusion par les hydrométéores s'observe lorsque les faisceaux de la station terrienne et de la station de Terre se recoupent (en partie ou en totalité) au niveau ou en dessous de la hauteur de pluie h_R (voir § 3 de l'Appendice 2). On suppose qu'à des hauteurs supérieures à cette hauteur de pluie, l'effet de la diffusion sera annulé par l'affaiblissement supplémentaire et qu'il ne contribuera donc pas de façon significative au risque de brouillage. Pour déterminer le contour en mode de propagation (2), on suppose que le faisceau principal de toute station de Terre recoupe exactement le faisceau principal de la station terrienne effectuant la coordination. On peut déterminer les effets correctifs d'intersections partielles des faisceaux à l'aide des contours auxiliaires en mode de propagation (2).

Etant donné qu'en première approximation l'énergie hyperfréquences est diffusée de façon isotrope par la pluie, on peut considérer que le brouillage se propage également pour tous les azimuts autour du volume commun centré au point d'intersection des faisceaux (voir § 1.3). En général, le point d'intersection des faisceaux ne se situe pas sur le trajet du grand cercle entre les deux stations. La détermination d'un volume commun correspond donc aux stations de Terre situées en tout point autour de la station terrienne, y compris les emplacements derrière la station terrienne.

Le contour en mode de propagation (2) est un cercle dont le rayon est égal à la distance nécessaire en mode de propagation (2). Contrairement à ce qui se passe pour le mode de propagation (1), le contour en mode de propagation (2) n'est pas centré sur l'emplacement physique de la station terrienne mais sur un point à la surface de la Terre situé immédiatement au-dessous du centre du volume commun.

La probabilité pour qu'il y ait un volume commun en tout point le long du faisceau de la station terrienne, entre l'emplacement des stations terriennes et le point auquel le faisceau atteint la hauteur de pluie, est la même. Pour qu'il soit protégé vis-à-vis des brouillages causés ou subis par les stations de Terre (voir la Note 1), on suppose que le centre du volume commun est situé à mi-chemin entre la station terrienne et le point auquel son faisceau coupe la hauteur de pluie. La distance entre la projection de ce point à la surface de la Terre et l'emplacement de la station terrienne est appelée Δd (voir § 4 de l'Appendice 2 de l'Annexe 1). Le centre du contour en mode de propagation (2) est donc situé à Δd km de la station terrienne sur l'azimut de l'axe du faisceau principal de cette station.

NOTE 1 – Cette procédure ne s'applique pas dans le cas d'une station terrienne partageant une bande de fréquences avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé car, dans ce cas particulier, le contour en mode de propagation (2) est fondé sur une construction géométrique.

5.1 Distance nécessaire pour le mode de propagation (2)

Les distances nécessaires en mode de propagation (2) sont mesurées le long d'un rayon partant du centre du volume commun de diffusion par la pluie. Le calcul de la distance se fait par itération; on part de la distance minimale définie pour le mode de propagation (1) et l'itération se poursuit jusqu'à ce que l'on atteigne soit l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (2), soit la distance de calcul maximale en mode de propagation (2), laquelle est fonction de la latitude. Les calculs en mode de propagation (2) utilisent la méthode décrite dans l'Appendice 2 de l'Annexe 1. Ils ne doivent être faits que pour les fréquences comprises entre 1 000 MHz et 40,5 GHz. En dehors de cette gamme de fréquences, on peut négliger le brouillage imputable à la diffusion par la pluie et la distance nécessaire en mode de propagation (2) est fixée comme étant la distance de coordination minimale donnée par les équations (14) à (19).

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

Détermination de la distance nécessaire pour le mode de propagation (1)**1 Corrections de l'angle d'élévation de l'horizon depuis la station terrienne et de la distance**

Pour le mode de propagation (1), la distance nécessaire dépend des caractéristiques de l'horizon physique autour de la station terrienne, lequel est caractérisé par une distance d_h (voir ci-après) et un angle d'élévation ε_h . L'angle d'élévation de l'horizon est défini ici comme étant l'angle (degrés), vu depuis le centre de l'antenne de la station terrienne, formé par le plan horizontal et un rayon qui rase l'horizon physique dans la direction considérée. La valeur de ε_h est positive lorsque l'horizon est au-dessus du plan horizontal et négative dans le cas contraire.

Il faut déterminer les angles d'élévation de l'horizon et les distances pour tous les azimuts autour d'une station terrienne. Dans la pratique, il suffira en général de le faire par incréments d'azimut de 5° . Toutefois, on essaiera d'identifier et de prendre en compte les angles d'élévation de l'horizon minimaux qui peuvent se présenter entre ces azimuts examinés par incréments de 5° .

Pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1), il est utile de distinguer les effets de propagation liés à l'horizon local autour de la station terrienne, lesquels, pour la totalité ou une partie des azimuts, peuvent être fonction des collines ou des montagnes avoisinantes, des effets de propagation sur le reste du trajet. Pour ce faire, on prend comme référence pour le modèle de propagation un angle d'élévation de l'horizon de 0° pour la station effectuant la coordination, puis on inclut un terme spécifique A_h correspondant aux caractéristiques connues de l'horizon de la station terrienne effectuant la coordination. Si nécessaire, A_h modifie la valeur de l'affaiblissement sur le trajet, pour chaque azimut, et à partir de cette valeur, on calcule la distance nécessaire en mode de propagation (1).

Il y a deux circonstances qui peuvent modifier le niveau d'affaiblissement sur le trajet en mode de propagation (1) par rapport au cas de référence d'un angle d'élévation de l'horizon de 0° :

- Première circonstance, l'angle d'élévation de l'horizon par rapport à la station terrienne effectuant la coordination (pour un azimut particulier) est positif. Dans ce cas, la station bénéficiera d'affaiblissements de propagation par diffraction supplémentaires (ce que l'on désigne généralement par le terme d'effet d'écran). En conséquence, l'affaiblissement A_h est positif et la valeur de l'affaiblissement nécessaire sur le trajet est inférieure à la valeur que l'on obtiendrait dans le cas d'un angle d'élévation de l'horizon de référence de 0° (voir les équations (28a) et (28b)).
- Deuxième circonstance, la station terrienne effectuant la coordination est située au-dessus de son environnement local et l'angle d'élévation de l'horizon pour l'azimut considéré est négatif. Dans ce cas, il faut prévoir une protection supplémentaire car la distance angulaire sur le trajet le long du rayon est réduite, ce qui fait que l'affaiblissement sur le trajet pour une distance donnée sera plus faible que dans le cas d'un angle d'élévation de 0° . Il convient d'en tenir compte dans le calcul de l'effet d'écran. Dans ce cas, l'affaiblissement A_h sera donc négatif et la valeur de l'affaiblissement nécessaire sur le trajet sera supérieure à la valeur que l'on obtiendrait dans le cas d'un angle d'élévation de l'horizon de référence de 0° .

La part relative de l'affaiblissement découlant des caractéristiques de l'horizon de la station terrienne effectuant la coordination dans l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1) modifie la valeur de l'affaiblissement sur le trajet qui doit alors être déterminée pour les trois modèles en mode de propagation (1). L'affaiblissement A_h est calculé comme suit pour chaque azimut autour de la station terrienne effectuant la coordination.

La distance de l'horizon, d_h , depuis l'emplacement de la station terrienne est déterminée comme suit:

$$d_h = \begin{cases} 0,5 \text{ km} & \text{si on ne dispose d'aucune information sur la distance de l'horizon} \\ & \text{ou si la distance est } < 0,5 \text{ km} \\ \text{horizon distance (km)} & \text{si celle-ci est comprise entre } 0,5 \text{ km et } 5,0 \text{ km} \\ 5,0 \text{ km} & \text{si la distance de l'horizon est } > 5,0 \text{ km} \end{cases}$$

La part relative de la distance de l'horizon, d_h , dans l'affaiblissement total dû à l'effet d'écran est donnée par A_d (dB) pour chaque azimut à l'aide de l'équation:

$$A_d = 15 \left[1 - \exp\left(\frac{0,5 - d_h}{5}\right) \right] \left[1 - \exp\left(-\varepsilon_h f^{1/3}\right) \right] \quad \text{dB} \quad (24)$$

où f est la fréquence, exprimée (GHz) dans tout l'Appendice.

L'affaiblissement total par effet d'écran pour chaque azimut depuis la station terrienne effectuant la coordination est donné par:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log(1 + 4,5\varepsilon_h f^{1/2}) + \varepsilon_h f^{1/3} + A_d & \text{dB} & \text{pour} & \varepsilon_h \geq 0^\circ & (25a) \\ 3 \left[(f+1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] \varepsilon_h & \text{dB} & \text{pour} & 0^\circ > \varepsilon_h \geq -0,5 & (25b) \\ -1,5 \left[(f+1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] & \text{dB} & \text{pour} & \varepsilon_h < -0,5^\circ & (25c) \end{cases}$$

La valeur de A_h doit être limitée pour satisfaire les conditions:

$$-10 \leq A_h \leq (30 + \varepsilon_h) \quad (26)$$

Dans les équations (24), (25) et (26) la valeur de ε_h doit toujours être exprimée en degrés. Les limites définies dans l'équation (26) sont spécifiées car, dans des situations concrètes, il se peut qu'il ne soit pas toujours possible d'assurer la protection en dehors de ces limites.

2 Fréquences comprises entre 100 MHz et 790 MHz

Le modèle de propagation exposé dans la présente section est limité à un pourcentage de temps annuel moyen, p , compris entre 1% et 50%.

On procède par itération pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1). On résout tout d'abord l'équation (28), puis, en partant de la distance de coordination minimale d_{min} , calculée selon la méthode décrite au § 1.5.3 de l'Annexe 1, on procède à une itération sur les équations (29) à (32) pour des distances d_i (où $i = 0, 1, 2, \dots$) incrémentées par pas de s (km) (§ 1.3 de l'Annexe 1). Dans chaque itération, d_i est la distance considérée. L'itération se poursuit jusqu'à ce que l'une ou l'autre des expressions suivantes soit vraie:

$$L_2(p) \geq \begin{cases} L_1(p) & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ L_{1q}(p) & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (27a)$$

ou:

$$d_i \geq \begin{cases} d_{max1} & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ d_1 & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (27b)$$

La distance nécessaire, d_1 , ou la distance pour le contour auxiliaire, d_q , sont donc données par la distance considérée pour la dernière itération, c'est-à-dire:

$$d_1 = d_i \quad (27c)$$

ou:

$$d_q = d_i \quad (27d)$$

Etant donné qu'on ne connaît pas la part respective des différentes zones le long d'un trajet, on traite tous les trajets comme s'ils pouvaient être des trajets terrestres ou maritimes: des calculs sont effectués en parallèle, l'un pour un trajet entièrement terrestre, et l'autre pour un trajet entièrement maritime. On effectue ensuite une interpolation non linéaire dont le résultat dépend de la contribution des affaiblissements terrestres et des affaiblissements maritimes sur la distance, d_i . Lorsque le trajet est situé en partie dans les mers chaudes et en partie dans les mers froides, on suppose que toutes les mers sont des mers chaudes.

Pour le contour principal ou supplémentaire:

$$L_1(p) = L_b(p) - A_h \quad (28a)$$

Pour un contour auxiliaire:

$$L_{1q}(p) = L_{bq}(p) - A_h \quad (28b)$$

où:

$L_b(p)$ dB et $L_{bq}(p)$ dB : l'affaiblissement nécessaire minimal pendant $p\%$ du temps respectivement, pour le contour principal ou supplémentaire, et le contour auxiliaire de valeur Q dB (voir § 1.3 et 1.6 de l'Annexe 1).

Calculs par itération

Au début de chaque itération, on calcule la distance considérée pour $i = 0, 1, 2, \dots$:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (29a)$$

Le facteur de correction C_i (dB), (voir § 4.4 de l'Annexe 1) pour la distance, d_i , est donné par:

$$C_i = \begin{cases} Z(f)(d_i - d_{min}) & \text{dB pour le contour principal ou supplémentaire} \\ 0 & \text{dB pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (29b)$$

où $Z(f)$ est donné par l'équation (22) du § 4.4 de l'Annexe 1.

Pour des distances de plus de 375 km, la valeur du facteur de correction (C_i dans l'équation (29b)) à appliquer, est la valeur de C_i pour une distance de 375 km.

L'affaiblissement, $L_{bl}(p)$, dans l'hypothèse d'un trajet entièrement terrestre (Zones A1 ou A2) est évalué successivement à l'aide de:

$$L_{bl}(p) = 142,8 + 20 \log f + 10 \log p + 0,1 d_i + C_i \quad (30)$$

L'affaiblissement $L_{bs}(p)$, dans l'hypothèse où le trajet est entièrement maritime en mers froides (Zone B) ou en mers chaudes (Zone C), est évalué successivement à l'aide de:

$$L_{bs}(p) = \begin{cases} \left. \begin{aligned} &49,91 \log (d_i + 1840 f^{1,76}) + 1,195 f^{0,393} (\log p)^{1,38} d_i^{0,597} \\ &+ (0,01 d_i - 70) (f - 0,1581) + (0,02 - 2 \times 10^{-5} p^2) d_i \\ &+ 9,72 \times 10^{-9} d_i^2 p^2 + 20,2 \end{aligned} \right\} \text{pour la Zone B} \quad (31a)$$

$$\left. \begin{aligned} &49,343 \log (d_i + 1840 f^{1,58}) + 1,266 (\log p)^{(0,468+2,598 f)} d_i^{0,453} \\ &+ (0,037 d_i - 70) (f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} d_i^2 p^3 + 20,2 \end{aligned} \right\} \text{pour la Zone C} \quad (31b)$$

L'affaiblissement prévu sur le trajet à la distance considérée est donné par:

$$L_2(p) = L_{bs}(p) + \left[1 - \exp \left(-5,5 \left(\frac{d_{tm}}{d_i} \right)^{1,1} \right) \right] (L_{bl}(p) - L_{bs}(p)) \quad (32)$$

où:

d_{tm} (km): distance terrestre continue la plus longue (terres intérieures + côtes), c'est-à-dire Zone A1 + Zone A2 le long du trajet considéré.

3 Fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz

Le modèle de propagation exposé dans la présente section est limité à un pourcentage de temps annuel moyen (p) compris entre 0,001% et 50%.

On procède par itération pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1). On évalue tout d'abord les équations (34) à (43). Puis, en partant de la distance de coordination minimale d_{min} , on procède dans les équations (44) à (54) à une itération pour les distances d_i , où $i = 0, 1, 2, \dots$, incrémentées par pas de s (km) (voir § 1.3 de l'Annexe 1). Pour chaque itération d_i est la distance considérée. L'itération se poursuit jusqu'à ce que l'une des expressions suivantes soit vraie:

$$\begin{aligned} (L_5(p) \geq L_3(p)) \text{ et } (L_6(p) \geq L_4(p)) & \quad \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ (L_5(p) \geq L_{3q}(p)) \text{ et } (L_6(p) \geq L_{4q}(p)) & \quad \text{pour le contour auxiliaire} \end{aligned} \quad (33a)$$

ou:

$$d_i \geq \begin{cases} d_{max1} & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ d_1 & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (33b)$$

La distance nécessaire, d_1 , ou la distance pour le contour auxiliaire, d_q , est alors donnée par la distance considérée pour la dernière itération, c'est-à-dire:

$$d_1 = d_i \quad (33c)$$

ou:

$$d_q = d_i \quad (33d)$$

Affaiblissement linéique dû à l'absorption gazeuse

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à l'air sec.

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} & \text{pour } f \leq 56,77 \text{ GHz} \\ 10 & \text{pour } f > 56,77 \text{ GHz} \end{cases} \quad (34a)$$

$$\quad \text{pour } f > 56,77 \text{ GHz} \quad (34b)$$

L'affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau est donné en fonction de ρ (densité de vapeur d'eau (g/m^3)) par l'équation suivante:

$$\gamma_w(\rho) = \left(0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (35)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la vapeur d'eau pour le modèle de propagation par diffusion troposphérique utilisant une densité de vapeur d'eau de $3,0 \text{ g/m}^3$:

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3,0) \quad (36a)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la vapeur d'eau pour le modèle de propagation par conduit utilisant une densité de vapeur d'eau de $7,5 \text{ g/m}^3$ pour les trajets terrestres (Zones A1 et A2):

$$\gamma_{wdl} = \gamma_w(7,5) \quad (36b)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la vapeur d'eau pour le modèle de propagation par conduit utilisant une densité de vapeur d'eau de 10,0 g/m³ pour les trajets en mer (Zones B et C):

$$\gamma_{wds} = \gamma_w (10,0) \quad (36c)$$

On notera que la valeur de 10 g/m³ est utilisée à la fois pour les Zones B et C, faute de données sur la variabilité de la densité de la vapeur d'eau à l'échelle mondiale, en particulier de valeurs minimales.

Calculer l'affaiblissement linéique par phénomène de conduit, en fonction de la fréquence (dB/km):

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3} \quad (37)$$

Pour le modèle de propagation par conduit

Calculer la réduction de l'affaiblissement découlant du couplage direct dans les conduits au-dessus de la mer (dB):

$$A_c = \frac{-6}{(1 + d_c)} \quad (38)$$

où d_c (km) est la distance jusqu'à la côte d'une station terrienne au sol, dans la direction considérée.

d_c est zéro dans les autres cas.

Calculer par itération l'affaiblissement minimal à atteindre:

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c \quad (39)$$

Pour le contour principal ou supplémentaire:

$$L_3(p) = L_b(p) - A_1 \quad (40a)$$

Pour un contour auxiliaire:

$$L_{3q}(p) = L_{bq}(p) - A_1 \quad (40b)$$

où:

$L_b(p)$ (dB) et $L_{bq}(p)$ (dB): valeurs de l'affaiblissement nécessaire minimal pendant $p\%$ du temps respectivement pour le contour principal ou supplémentaire et le contour auxiliaire de valeur Q (dB) (voir § 1.3 et 1.6 de l'Annexe 1).

Pour le modèle de diffusion troposphérique

Calculer la partie fonction de la fréquence des affaiblissements (dB):

$$L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[\log \left(\frac{f}{2} \right) \right]^2 \quad (41)$$

Calculer la partie non dépendante de la distance des affaiblissements (dB):

$$A_2 = 187,36 + 10 \varepsilon_h + L_f - 0,15 N_0 - 10,1 \left(-\log \left(\frac{p}{50} \right) \right)^{0,7} \quad (42)$$

où:

ε_h : angle d'élévation de l'horizon de la station terrienne (degrés)

N_0 : coïndice de réfraction à la surface de la mer au centre du trajet (voir équation (12), § 4.1 de l'Annexe 1).

Calculer la valeur nécessaire minimale pour les affaiblissements dépendant de la distance (dB):

Pour le contour principal ou supplémentaire:

$$L_4(p) = L_b(p) - A_2 \quad (43a)$$

Pour un contour auxiliaire:

$$L_{4q}(p) = L_{bq}(p) - A_2 \quad (43b)$$

où:

$L_b(p)$ (dB) et $L_{bq}(p)$ (dB): valeurs de l'affaiblissement nécessaire minimal pendant $p\%$ du temps respectivement pour le contour principal ou supplémentaire et le contour auxiliaire de valeur Q (dB) (voir § 1.3 et 1.6 de l'Annexe 1).

Calculs par itération

Au début de chaque itération, calculer la distance considérée pour $i = 0, 1, 2, \dots$:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (44)$$

Calculer l'affaiblissement linéique dû à l'absorption gazeuse (dB/km):

$$\gamma_g = \gamma_o + \gamma_{wdl} \left(\frac{d_t}{d_i} \right) + \gamma_{wds} \left(1 - \frac{d_t}{d_i} \right) \quad (45)$$

où:

d_t (km): distance terrestre cumulée considérée (Zone A1 + Zone A2) le long du trajet considéré.

Calculer les paramètres suivants qui dépendent de la zone:

$$\tau = 1 - \exp \left[- \left(4,12 \times 10^{-4} (d_{lm})^{2,41} \right) \right] \quad (46)$$

où:

d_{lm} (km): distance terrestre continue la plus longue (Zone A2) le long du trajet considéré

$$\mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{lm}}{16-6,6 \tau}} + \left[10^{-(0,496+0,354 \tau)} \right]^5 \right]^{0,2} \quad (47)$$

où:

d_{lm} (km): distance terrestre continue la plus longue (terres intérieures + côtes) (Zone A1 + Zone A2) le long du trajet considéré.

μ_1 doit être limité à $\mu_1 \leq 1$.

$$\sigma = -0,6 - 8,5 \times 10^{-9} d_i^{3,1} \tau \quad (48)$$

σ doit être limité à $\sigma \geq -3,4$.

$$\mu_2 = \left(2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right)^\sigma \quad (49)$$

μ_2 doit être limité à $\mu_2 \leq 1$.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176 \zeta_r) \log \mu_1} & \text{pour } \zeta_r \leq 70^\circ & (50a) \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{pour } \zeta_r > 70^\circ & (50b) \end{cases}$$

où ζ_r est donné dans les équations (10) et (11), § 4.1 de l'Annexe 1.

Calculer l'incidence fonction du trajet du phénomène de conduit, β , et un paramètre connexe, Γ_1 , utilisés pour calculer la relation de dépendance entre le temps et l'affaiblissement sur le trajet:

$$\beta = \beta_e \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad (51)$$

où β_e est donné dans les équations (8) et (9), § 4.1 de l'Annexe 1.

$$\Gamma_1 = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \exp \left[- \left(9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2 \right) \times 10^{-6} d_i^{1,13} \right] \quad (52)$$

Calculer le facteur de correction C_{2i} (dB) (voir § 4.4 de l'Annexe 1) en utilisant:

$$C_{2i} = \begin{cases} Z(f)(d_i - d_{min})\tau & \text{dB} & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ 0 & \text{dB} & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (53)$$

où $Z(f)$ est calculé à l'aide de l'équation (22), § 4.4 de l'Annexe 1.

Pour des distances de plus de 375 km, la valeur du facteur de correction C_{2i} dans l'équation (53) à utiliser, est la valeur de C_{2i} pour une distance de 375 km.

Calculer la partie fonction de la distance des affaiblissements (dB) en cas de propagation par conduit:

$$L_5(p) = (\gamma_d + \gamma_g) d_i + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^{\Gamma_1} + C_{2i} \quad (54)$$

et en cas de diffusion troposphérique:

$$L_6(p) = 20 \log (d_i) + 5,73 \times 10^{-4} (112 - 15 \cos (2\zeta)) d_i + (\gamma_o + \gamma_{wt}) d_i + C_{2i} \quad (55)$$

Pour déterminer les distances pour les contours auxiliaires, $C_{2i} = 0$ dB.

4 Fréquences comprises entre 60 GHz et 105 GHz

Le présent modèle de propagation vaut pour un pourcentage de temps annuel moyen (p) compris entre 0,001% et 50%.

On procède par itération pour déterminer la distance nécessaire en mode de propagation (1). On applique tout d'abord les équations (56) à (60). Puis, en partant de la distance de coordination minimale d_{min} , on procède à une itération pour les équations (61) et (62) pour les distances d_i , où $i = 0, 1, 2, \dots$, incrémentées par pas de s (km) (§ 1.3 de l'Annexe 1). Pour chaque itération, d_i est la distance considérée.

Le processus se poursuit jusqu'à ce que l'une des expressions suivantes soit vraie:

$$L_9(p) \geq \begin{cases} L_8(p) & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ L_{8q}(p) & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (55a)$$

ou:

$$d_i \geq \begin{cases} d_{max1} & \text{pour le contour principal ou supplémentaire} \\ d_1 & \text{pour le contour auxiliaire} \end{cases} \quad (55b)$$

La distance nécessaire d_1 ou la distance pour le contour auxiliaire d_q sont alors données par la distance considérée pour la dernière itération c'est-à-dire:

$$d_1 = d_i \quad (55c)$$

ou:

$$d_q = d_i \quad (55d)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) pour l'air sec et pour des fréquences comprises entre 60 GHz et 105 GHz en utilisant:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[2 \times 10^{-4} \left(1 - 1,2 \times 10^{-5} f^{1,5} \right) + \frac{4}{(f - 63)^2 + 0,936} + \frac{0,28}{(f - 118,75)^2 + 1,771} \right] f^2 6,24 \times 10^{-4} & \text{dB/km pour } f > 63,26 \text{ GHz} \\ 10 & \text{dB/km pour } f \leq 63,26 \text{ GHz} \end{cases} \quad (56a)$$

$$10 \quad \text{dB/km} \quad \text{pour } f \leq 63,26 \text{ GHz} \quad (56b)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) pour une densité de vapeur d'eau dans l'atmosphère de 3 g/m^3 en utilisant:

$$\gamma_{wm} = (0,039 + 7,7 \times 10^{-4} f^{0,5}) f^2 2,369 \times 10^{-4} \quad (57)$$

Calculer une évaluation prudente de l'affaiblissement linéique (dB/km) pour l'absorption gazeuse en utilisant:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm} \quad \text{dB/km} \quad (58)$$

Pour la fréquence nécessaire et la valeur de l'effet d'écran de la station terrienne, A_h (dB), calculée selon la méthode décrite au § 1 de cet Appendice, calculer l'affaiblissement minimal à atteindre dans les calculs par itération:

$$L_7(p) = 92,5 + 20 \log(f) + A_h \quad \text{dB} \quad (59)$$

Pour le contour principal ou supplémentaire:

$$L_8(p) = L_b(p) - L_7 \quad \text{dB} \quad (60a)$$

Pour un contour auxiliaire:

$$L_{8q}(p) = L_{bq}(p) - L_7 \quad \text{dB} \quad (60b)$$

où:

$L_b(p)$ (dB) et $L_{bq}(p)$ (dB): valeurs de l'affaiblissement minimal nécessaire pendant $p\%$ du temps respectivement pour le contour principal ou supplémentaire et le contour auxiliaire de valeur Q (dB) (voir les § 1.3 et 1.6 de l'Annexe 1).

Calculs par itération

Au début de chaque itération, calculer la distance considérée pour $i = 0, 1, 2, \dots$:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (61)$$

Calculer les affaiblissements fonction de la distance pour la distance considérée:

$$L_9(p) = \gamma_{gm} d_i + 20 \log(d_i) + 2,6 \left[1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p}{50}\right) \quad (62)$$

Pour les fréquences supérieures à 60 GHz, le facteur de correction (voir § 4.4 de l'Annexe 1) est de 0 dB. Aucun terme de correction n'a donc été ajouté dans l'équation (62).

APPENDICE 2

À L'ANNEXE 1

Détermination de la distance nécessaire pour le mode de propagation (2)**1 Présentation générale**

L'algorithme donné ci-après permet de calculer l'affaiblissement sur le trajet pour le mode de propagation (2), $L_r(p)$ (dB), comme une fonction monotone du taux de précipitation $R(p)$ (mm/h), en utilisant comme paramètre la distance de diffusion par les hydrométéores, r_i (km). Le modèle est valable pour un pourcentage de temps annuel moyen (p) compris entre 0,001 et 10%. La méthode pour déterminer le contour de diffusion par les hydrométéores est la suivante:

- La valeur de $R(p)$ est déterminée pour les zones hydrométéorologiques A à Q.
- Les valeurs de $L_r(p)$ sont ensuite calculées pour des valeurs incrémentielles (pas de s (km)) de r_i , en partant de la distance de coordination minimale, d_{min} , comme indiqué au § 1.3 de l'Annexe 1. La valeur correcte de r_i est celle pour laquelle la valeur correspondante de $L_r(p)$ est égale ou supérieure à l'affaiblissement minimal nécessaire en mode de propagation (2) $L(p)$. Cette valeur de r_i est la distance nécessaire pour le mode de propagation (2); elle est désignée par d_r .
- Si l'itération aboutit à une valeur de r_i égale ou supérieure à la distance de calcul maximale appropriée (d_{max2}) donnée au § 2, le calcul est terminé et d_r est supposée être égale à d_{max2} . L'itération s'arrête donc lorsque l'une des deux expressions suivantes est vraie:

$$L_r(p) \geq L(p) \quad (63a)$$

ou:

$$r_i \geq d_{max2} \quad (63b)$$

- Le contour pour le mode de propagation (2) est un cercle de rayon d_r (km) centré sur un point le long de l'azimut du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne à une distance horizontale de Δd (km) depuis la station terrienne.

2 Distance de calcul maximale

Comme cela a déjà été dit au § 1.5.3 de l'Annexe 1, il faut fixer des limites supérieures à la distance maximale utilisée pour calculer par itération la distance nécessaire. La distance de calcul maximale à utiliser pour le mode de propagation (2) (d_{max2}) dépend de la latitude et est donnée par l'équation suivante:

$$d_{max2} = \sqrt{17\,000(h_R + 3)} \quad \text{km}$$

où h_R est défini dans les équations (75) et (76).

3 Calcul du contour en mode de propagation (2)

On détermine $R(p)$, taux de précipitation (mm/h) dépassé en moyenne pendant $p\%$ d'une année. Le monde a été subdivisé en un certain nombre de zones hydrométéorologiques (voir Fig. 5, 6 et 7) pour lesquelles les caractéristiques des précipitations sont différentes.

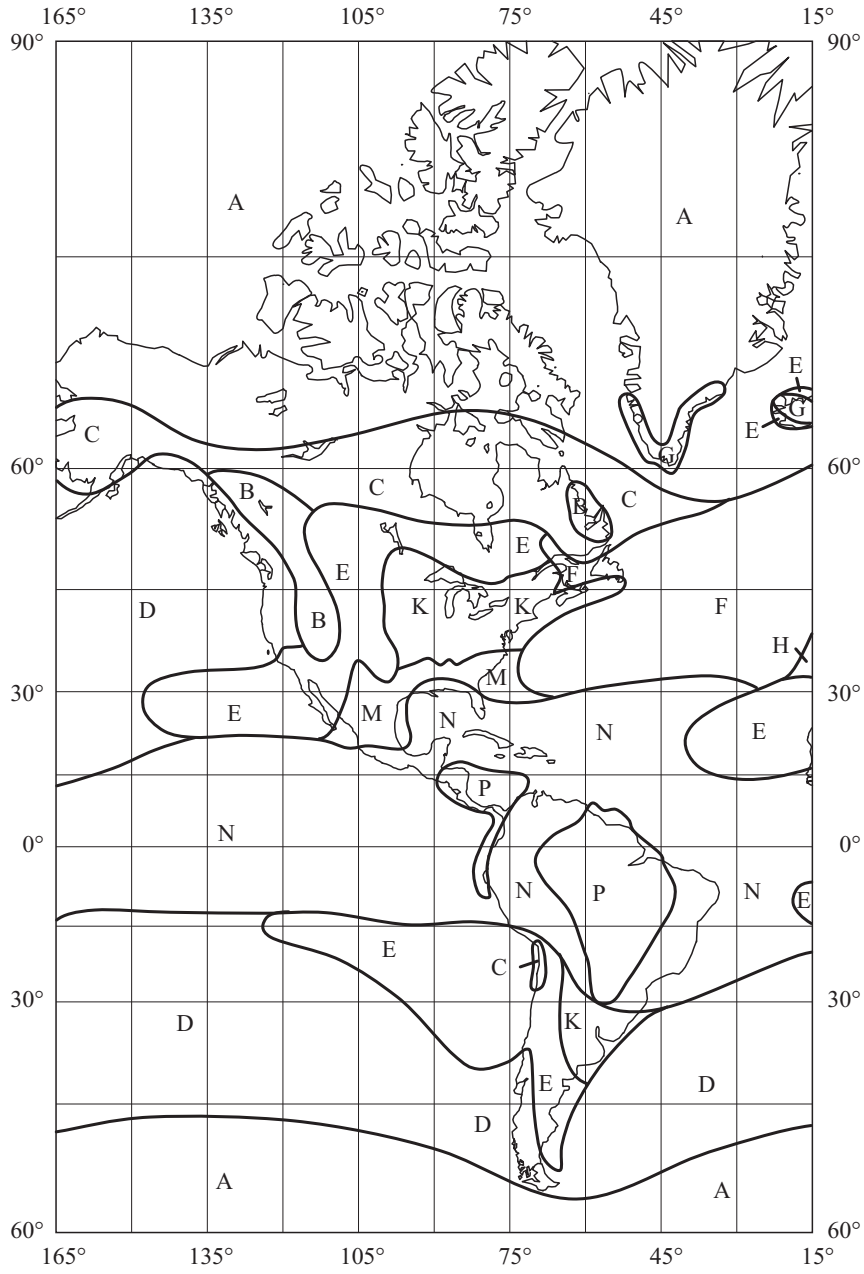
Les courbes indiquées à la Fig. 8 présentent les distributions cumulatives du taux de précipitation, chacune pouvant s'appliquer à plusieurs de ces zones hydrométéorologiques.

On détermine la zone hydrométéorologique applicable à l'emplacement de la station terrienne:

- Pour $0,001\% < p < 0,3\%$ et la zone hydrométéorologique applicable:
Déterminer $R(p)$ à partir de la Fig. 8 ou des équations (64) à (68).
- Pour $p \geq 0,3\%$:

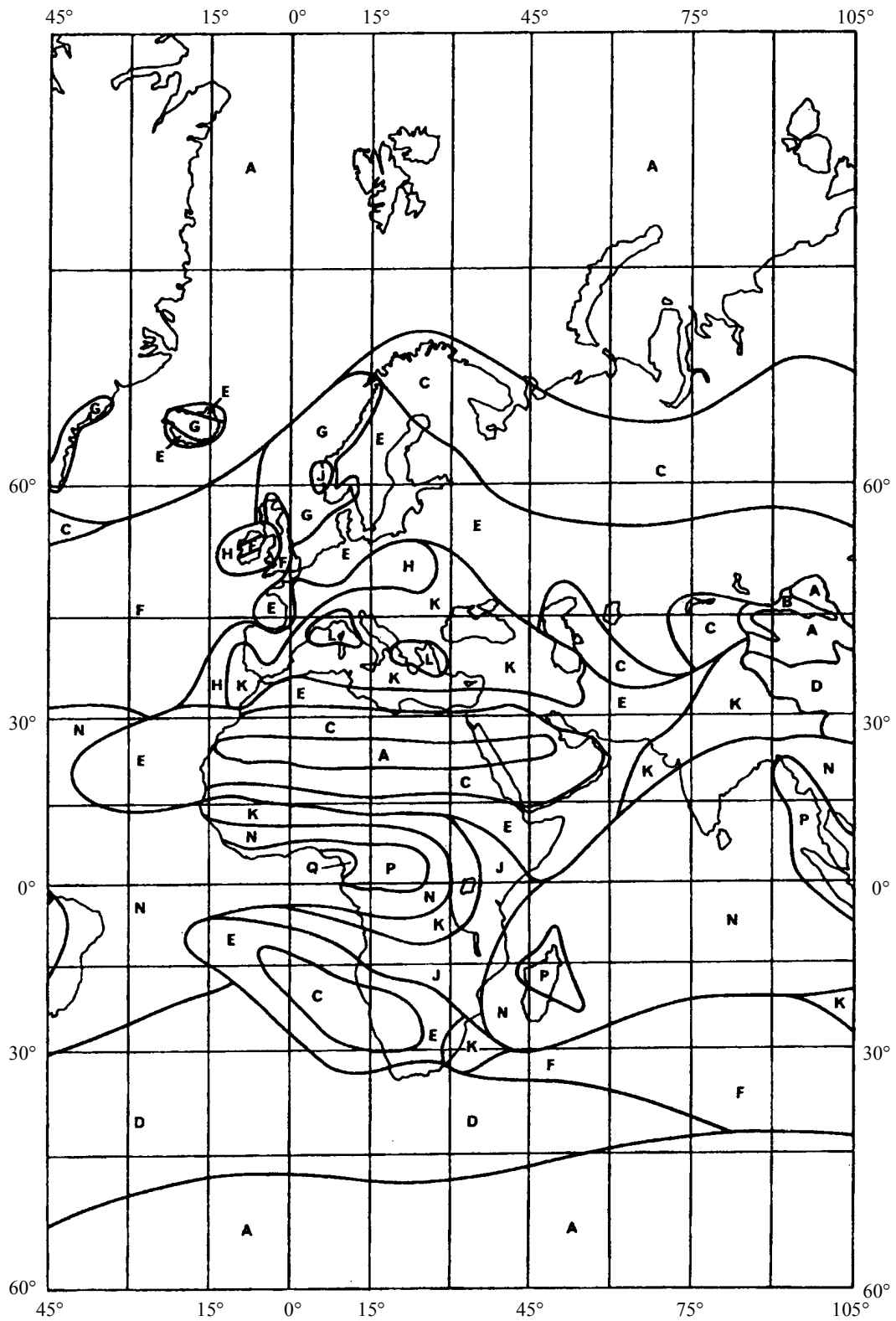
Utiliser l'équation (69) avec des valeurs de $R(0,3\%)$ et p_c prises dans le Tableau 4.

FIGURE 5



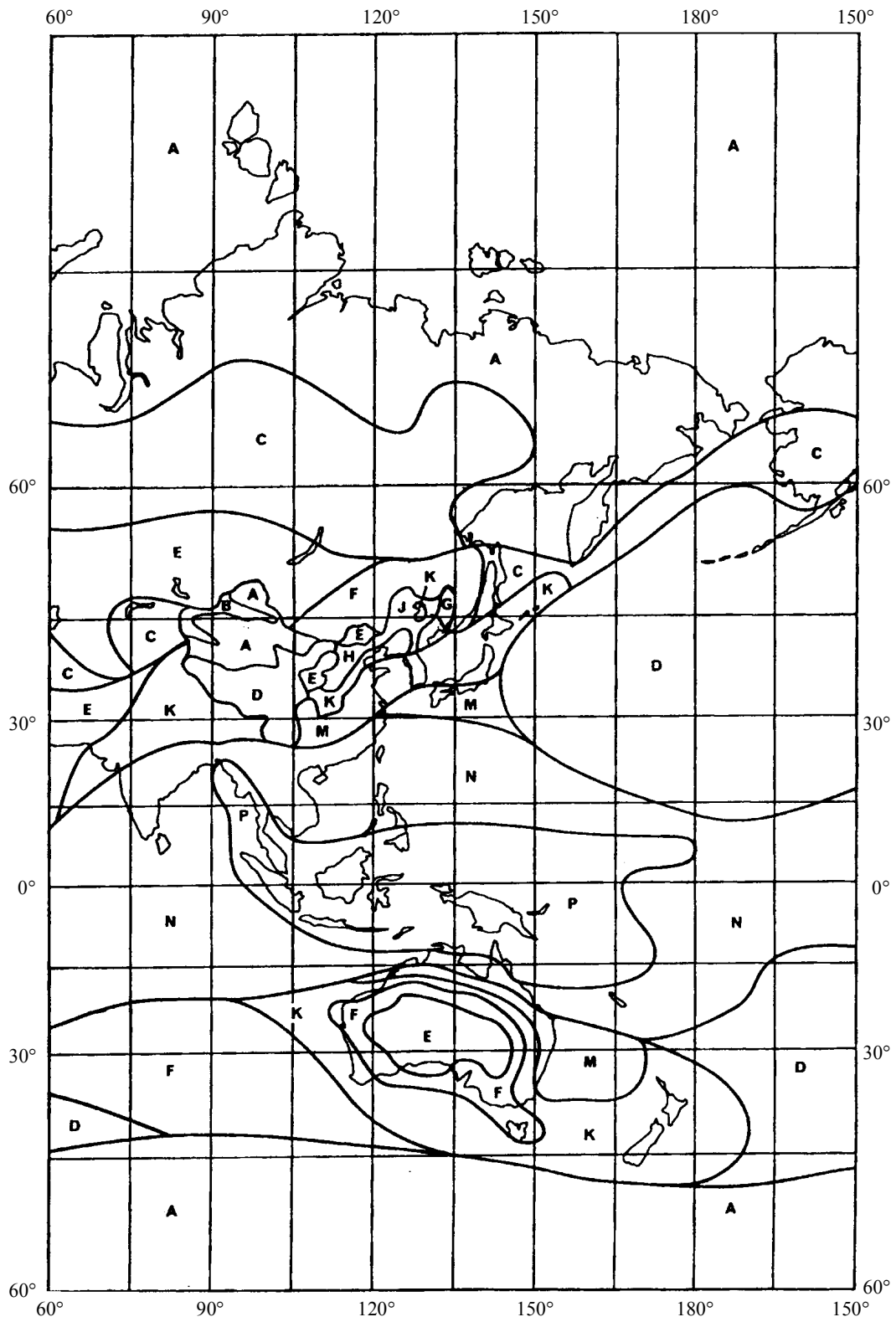
1448-05

FIGURE 6



1448-06

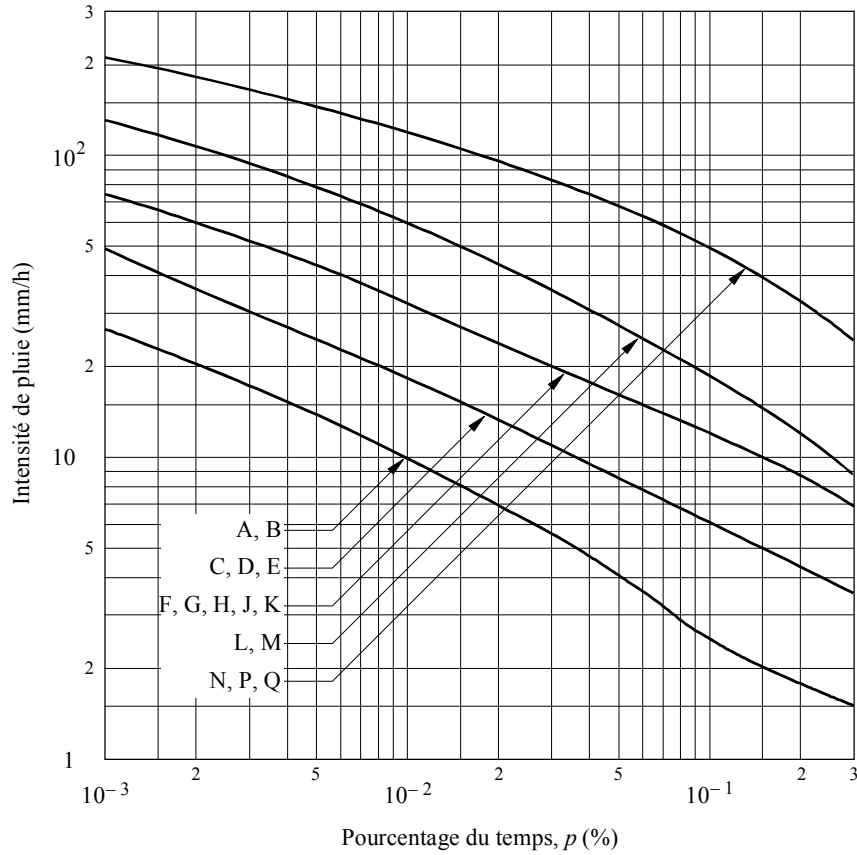
FIGURE 7



1448-07

FIGURE 8

Distributions cumulatives composites du taux de précipitation pour les zones hydrométéorologiques indiquées aux Fig. 5, 6 et 7



1448-08

Zones hydrométéorologiques A, B

$$R(p) = 1,1 p^{-0,465} + 0,25 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] - \left[|\log(p/0,1)| + 1,1 \right]^{-2} \text{ mm/h} \quad (64)$$

Zones hydrométéorologiques C, D, E

$$R(p) = 2 p^{-0,466} + 0,5 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] \text{ mm/h} \quad (65)$$

Zones hydrométéorologiques F, G, H, J, K

$$R(p) = 4,17 p^{-0,418} + 1,6 \left[\log(p/0,001) \log^3(0,3/p) \right] \text{ mm/h} \quad (66)$$

Zones hydrométéorologiques L, M

$$R(p) = 4,9 p^{-0,48} + 6,5 \left[\log(p/0,001) \log^2(0,3/p) \right] \text{ mm/h} \quad (67)$$

Zones hydrométéorologiques N, P, Q

$$R(p) = 15,6 \left(p^{-0,383} + \left[\log(p/0,001) \log^{1,5}(0,3/p) \right] \right) \text{ mm/h} \quad (68)$$

TABLEAU 4

Valeurs de R et p_c pour les différentes zones hydrométéorologiques

Zone hydrométéorologique	R (0,3%) (mm/h)	p_c (%)
A, B	1,5	2
C, D, E	3,5	3
F, G, H, J, K	7,0	5
L, M	9,0	7,5
N, P, Q	25,0	10

où:

p_c (%): pourcentage de temps de référence au-dessus duquel le taux de précipitation $R(p)$ peut être supposé égal à zéro.

$$R(p) = R(0,3\%) \left[\frac{\log(p_c/p)}{\log(p_c/0,3)} \right]^2 \quad (69)$$

Déterminer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la pluie en utilisant dans l'équation (71) les valeurs de k et α données dans le Tableau 5. On peut obtenir par interpolation les valeurs de k et α à des fréquences autres que celles indiquées dans le Tableau 5; pour ce faire on utilise une échelle logarithmique pour la fréquence et pour k et une échelle linéaire pour α .

TABLEAU 5

Valeurs de k et α pour une polarisation verticale en fonction de la fréquence

Fréquence (GHz)	k	α
1	0,0000352	0,880
4	0,000591	1,075
6	0,00155	1,265
8	0,00395	1,31
10	0,00887	1,264
12	0,0168	1,20
14	0,029	1,15
18	0,055	1,09
20	0,0691	1,065
22,4	0,090	1,05
25	0,113	1,03
28	0,150	1,01
30	0,167	1,00
35	0,233	0,963
40	0,310	0,929
40,5	0,318	0,926

Supposons que:

$$R = R(p) \quad (70)$$

Alors, l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la pluie est donné par:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad (71)$$

Calculer le diamètre effectif de la cellule de pluie:

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad (72)$$

Calculer ensuite la fonction de transfert effective par diffusion:

$$R_{cv} = \frac{2,17}{\gamma_R d_s} \left(1 - 10^{-\frac{-\gamma_R d_s}{5}} \right) \quad (73)$$

Calculer l'affaiblissement supplémentaire en dehors du volume commun:

$$\Gamma_2 = 631 k R^{(\alpha-0,5)} \times 10^{-(R+1)^{0,19}} \quad (74)$$

Déterminer la hauteur de pluie au-dessus du sol, h_R (km):

Pour l'Amérique du Nord et l'Europe à l'ouest de 60° E de longitude:

$$h_R = 3,2 - 0,075 (\zeta - 35) \quad \text{pour } 35 \leq \zeta \leq 70 \quad (75)$$

où:

ζ : latitude de la station terrienne effectuant la coordination.

Pour toutes les autres zones du monde:

$$h_R = \begin{cases} 5 - 0,075 (\zeta - 23) & \text{pour } \zeta > 23 & \text{Hémisphère Nord} & (76a) \\ 5 & \text{pour } 0 \leq \zeta \leq 23 & \text{Hémisphère Nord} & (76b) \\ 5 & \text{pour } 0 \geq \zeta \geq -21 & \text{Hémisphère Sud} & (76c) \\ 5 + 0,1 (\zeta + 21) & \text{pour } -71 \leq \zeta < -21 & \text{Hémisphère Sud} & (76d) \\ 0 & \text{pour } \zeta < -71 & \text{Hémisphère Sud} & (76e) \end{cases}$$

Déterminer l'affaiblissement linéique dû à l'absorption de la vapeur d'eau (on utilise une densité de vapeur d'eau de 7,5 g/m³):

$$\gamma_{wr} = \left[0,06575 + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] f^2 7,5 \times 10^{-4} \quad (77)$$

3.1 Calculs par itération

Appliquer les équations (78) à (83) pour des valeurs croissantes de r_i , où r_i est la distance considérée (km) entre la région de diffusion maximale et l'emplacement possible d'une station de Terre et $i = 0, 1, 2, \dots$ Poursuivre le processus jusqu'à ce que l'une des conditions données dans les équations (63a) et (63b) soit vraie. La distance nécessaire en cas de diffusion par la pluie d_r est la valeur considérée de r_i .

$$r_i = d_{min} + i \cdot s \quad (78)$$

Déterminer l'affaiblissement au-dessus de la hauteur de pluie L_{ar} (dB), applicable au couplage par diffusion:

$$L_{ar} = \begin{cases} 6,5 \left[6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} - h_R \right] & \text{pour } 6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} > h_R & (79a) \\ 0 & \text{pour } 6 (r_i - 50)^2 \times 10^{-5} \leq h_R & (79b) \end{cases}$$

Calculer la diffusion supplémentaire pour l'écart par rapport à la diffusion de Rayleigh:

$$A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{pour } 10 \text{ GHz} < f < 40,5 \text{ GHz} \\ 0 & \text{pour } f < 10 \text{ GHz ou lorsque } L_{ar} \neq 0 \end{cases} \quad (80a)$$

$$0 & \text{pour } f < 10 \text{ GHz ou lorsque } L_{ar} \neq 0 \quad (80b)$$

Calculer la longueur effective du trajet pour l'absorption par l'oxygène:

$$d_o = \begin{cases} 0,7 r_i + 32 & \text{pour } r_i < 340 \text{ km} \\ 270 & \text{pour } r_i \geq 340 \text{ km} \end{cases} \quad (81a)$$

$$270 & \text{pour } r_i \geq 340 \text{ km} \quad (81b)$$

Calculer la longueur effective du trajet pour l'absorption par la vapeur d'eau:

$$d_v = \begin{cases} 0,7 r_i + 32 & \text{pour } r_i < 240 \text{ km} \\ 200 & \text{pour } r_i \geq 240 \text{ km} \end{cases} \quad (82a)$$

$$200 & \text{pour } r_i \geq 240 \text{ km} \quad (82b)$$

Déterminer l'affaiblissement sur le trajet en mode de propagation (2), L_r (dB):

$$L_r = 168 + 20 \log r_i - 20 \log f - 13,2 \log R - G_x + A_b - 10 \log R_{cv} + \Gamma_2 + L_{ar} + \gamma_o d_o + \gamma_{wr} d_v \quad (83)$$

où:

γ_o : comme défini dans l'équation (34)

G_x : gain d'antenne du réseau de Terre donné dans les Tableaux 14 ou 15.

4 Tracé du contour en mode de propagation (2)

Pour déterminer le centre du contour circulaire en mode de propagation (2), il faut calculer la distance horizontale depuis la station terrienne jusqu'à ce point, le long de l'azimut de l'axe du faisceau principal de l'antenne de cette station. La distance Δd (km) jusqu'au centre du contour en mode de propagation (2) est donnée par:

$$\Delta d = \frac{h_R}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_s} \quad (84)$$

où:

ε_s : angle d'élévation de l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne

et

Δd : est limité à la distance $(d_r - 50)$ km.

La distance nécessaire en mode de propagation (2) d_r doit être comprise entre la distance de coordination minimale, d_{min} , et la distance de calcul maximale en mode de propagation (2), d_{max2} .

On trace le contour en mode de propagation (2) comme un cercle de rayon d_r (km) autour du centre déterminé ci-dessus. Ce contour est le lieu géométrique de points sur ce cercle, mais, si une partie quelconque de ce contour se trouve à l'intérieur du contour défini par la distance de coordination minimale, cet arc du contour est pris comme étant identique au contour fondé sur la distance de coordination minimale; le contour en mode de propagation (2) n'est donc plus circulaire.

APPENDICE 3

À L'ANNEXE 1

Gain d'antenne en direction de l'horizon d'une station terrienne fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

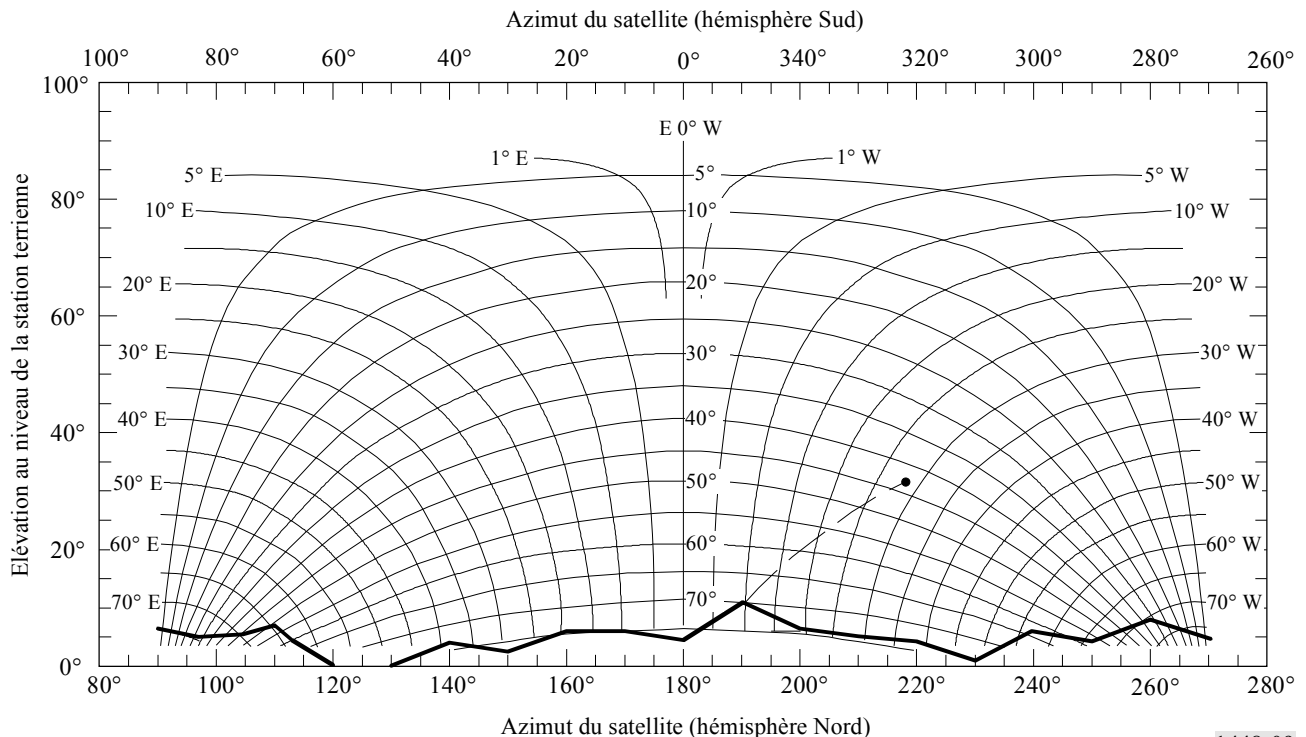
1 Considérations générales

La composante du gain de l'antenne d'une station terrienne en direction de l'horizon physique autour de cette station est fonction de l'espacement angulaire entre l'axe du faisceau principal de l'antenne et l'horizon dans la direction considérée. Lorsque la station terrienne est utilisée pour émettre à destination d'une station spatiale sur orbite géostationnaire ou d'une ou plusieurs stations spatiales sur orbite légèrement inclinée, il faut prendre en considération toutes les directions de pointage possibles de l'axe du faisceau principal de l'antenne. Pour la coordination des stations terriennes, il faut, pour chaque azimut, connaître $\varphi(\alpha)$, valeur minimale possible de l'espacement angulaire que l'on observera pendant l'exploitation de la station spatiale.

Lorsqu'une station spatiale géostationnaire reste à proximité de sa position sur l'orbite nominale, il y a une relation univoque entre l'angle d'élevation de l'axe du faisceau principal de la station terrienne ϵ_s et l'angle d'azimut α_s en direction de la station spatiale, depuis la station terrienne située à une latitude ζ . La Fig. 9 montre les arcs des emplacements possibles d'une station spatiale géostationnaire en coordonnées rectangulaires (azimut/élévation). Elle montre aussi les arcs correspondant à un ensemble de latitudes des stations terriennes et les arcs d'intersection correspondent aux points sur l'orbite présentant une différence fixe en longitude est ou ouest de la station terrienne. La Fig. 9 montre aussi une partie du profil de l'horizon $\epsilon_h(\alpha)$. 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. 9.

FIGURE 9

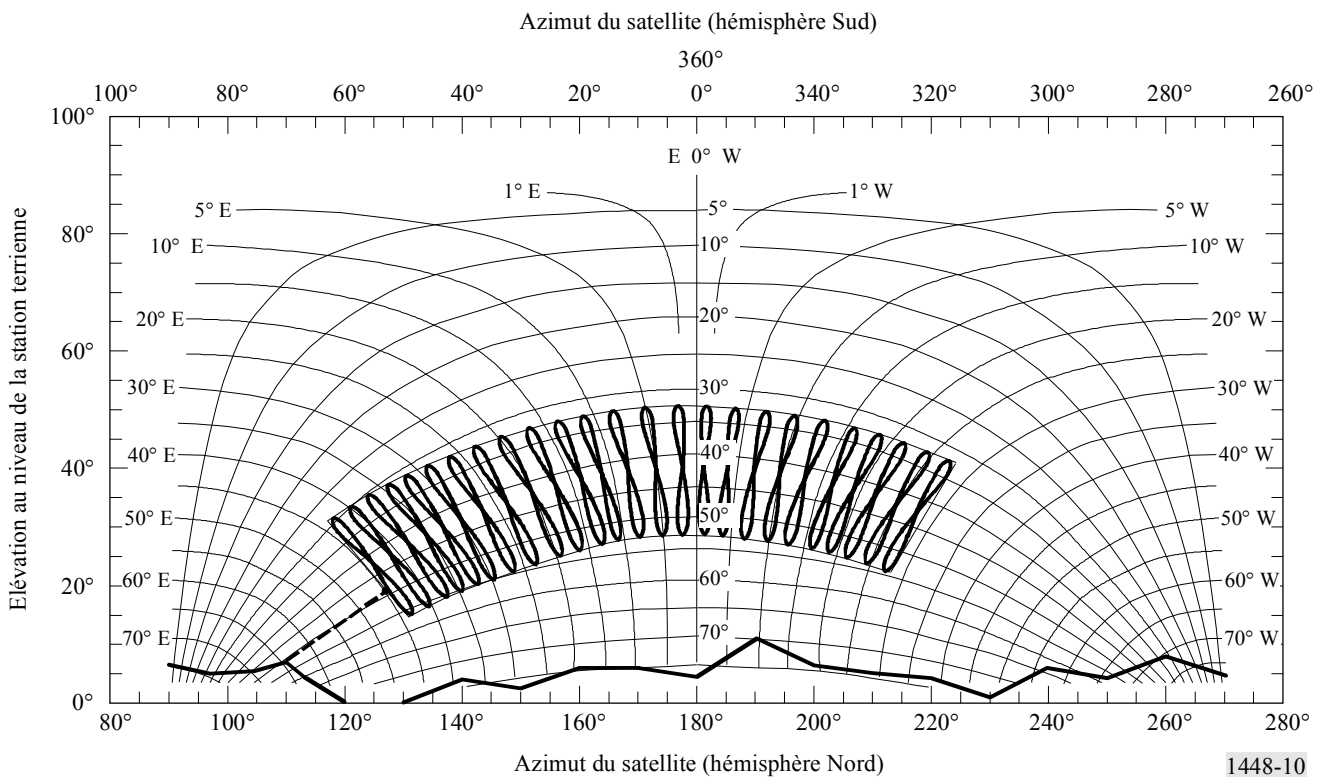
Arcs de position de satellites géostationnaires par rapport à l'horizon et arc vu à partir de l'horizon dans l'azimut de 190° vers un satellite situé à 28° O d'une station terrienne située à 43° N de latitude



Lorsque le maintien en position nord/sud d'un satellite géostationnaire est assoupli, l'orbite du satellite devient inclinée et son inclinaison augmente progressivement avec le temps. Vu depuis la Terre, le satellite décrit un huit pendant chaque période de 24 h. La Fig. 10 montre les variations de trajectoires d'un ensemble de satellites inclinés de 10° et espacés de 3° le long de l'arc de l'orbite géostationnaire compris entre 28° O et 44° E par rapport à une station terrienne située à 43° N de latitude. Pour déterminer la zone de coordination, il suffit de prendre en considération une enveloppe de ces trajectoires. On peut utiliser une enveloppe simple délimitée par les excursions maximales en latitude et en longitude des points subsatellites pour toutes les positions possibles le long de l'arc (voir Fig. 10). La Fig. 10 montre également en pointillé l'arc du grand cercle correspondant à l'angle hors axe minimal $\varphi(\alpha)$ entre un point sur la trajectoire de l'un des satellites et le profil de l'horizon, pour un azimut de 110° .

FIGURE 10

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



Pour une station terrienne d'émission fonctionnant dans une bande de fréquences qui est aussi attribuée dans les deux sens de transmission à des stations terriennes de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires, on se reportera au § 2.1 de l'Appendice 6.

2 Détermination de l'espacement angulaire $\varphi(\alpha)$

Pour déterminer l'angle hors axe $\varphi(\alpha)$, il faut distinguer quatre cas, selon qu'on prend en considération une seule station spatiale ou une portion de l'orbite géostationnaire ou que la station terrienne fonctionne ou non avec des stations spatiales sur orbites légèrement inclinées. On peut utiliser les équations suivantes dans tous les cas:

$$\psi_s(i, \delta) = \arccos(\sin \zeta \sin i + \cos \zeta \cos i \cos \delta) \quad (85)$$

$$\varepsilon_s(i, \delta) = \arcsin \left(\frac{K \cos \psi_s(i, \delta) - 1}{(1 + K^2 - 2K \cos \psi_s(i, \delta))^{1/2}} \right) \quad (86)$$

$$\alpha_{0s}(i, \delta) = \arccos \left[\frac{\sin i - \cos \psi_s \sin \zeta}{\sin \psi_s \cos \zeta} \right] \quad (87)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = \alpha_{0s}(i, \delta) \quad \text{pour une station spatiale située à l'est de la station terrienne } (\delta \geq 0) \quad (88)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = 360^\circ - \alpha_{0s}(i, \delta) \quad \text{pour une station spatiale située à l'ouest de la station terrienne } (\delta \leq 0) \quad (89)$$

$$\varphi(\alpha, i, \delta) = \arccos [\cos \varepsilon_h(\alpha) \cos \varepsilon_s(i, \delta) \cos(\alpha - \alpha_s(i, \delta)) + \sin \varepsilon_h(\alpha) \sin \varepsilon_s(i, \delta)] \quad (90)$$

où:

- ζ : latitude de la station terrienne (positive au nord, négative au sud)
- δ : différence en longitude entre la station terrienne et la station spatiale
- i : latitude du point subsatellite (positive au nord, négative au sud)
- $\psi_s(i, \delta)$: arc du grand cercle entre la station terrienne et le point subsatellite
- $\alpha_s(i, \delta)$: azimut de la station spatiale vue depuis la station terrienne
- $\varepsilon_s(i, \delta)$: angle d'élévation de la station spatiale vue depuis la station terrienne
- $\varphi(\alpha, i, \delta)$: angle formé par le faisceau principal et la direction de l'horizon correspondant à l'azimut, α , considéré lorsque le faisceau principal est orienté vers une station spatiale avec un point subsatellite à la latitude, i , et une différence en longitude de δ
- α : azimut de la direction considérée
- ε_h : angle d'élévation de l'horizon à l'azimut α considéré
- $\varphi(\alpha)$: angle à utiliser pour calculer le gain de l'horizon à l'azimut considéré, α
- K : rayon de l'orbite/rayon de la Terre qui, pour l'orbite des satellites géostationnaires, est supposé égal à 6,62.

Tous les arcs mentionnés ci-dessus sont en degrés.

Cas 1: Une seule station spatiale, pas d'inclinaison d'orbite

Pour une station spatiale fonctionnant sans inclinaison d'orbite, à une position orbitale présentant une différence en longitude de δ_0 , on peut appliquer directement les équations (85) à (90), en utilisant $i = 0$ pour déterminer $\varphi(\alpha)$ pour chaque azimut α . Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\alpha, 0, \delta_0) \quad (91)$$

où:

- δ_0 : différence en longitude entre la station terrienne et la station spatiale.

Cas 2: Stations spatiales sur une portion de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires, pas d'inclinaison d'orbite

Pour des stations spatiales fonctionnant sans inclinaison d'orbite sur une portion de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires, on peut appliquer directement les équations (85) à (90) en utilisant $i = 0$ pour déterminer la valeur minimale de l'angle hors axe. Pour chaque azimut α , l'angle $\varphi(\alpha)$ est la valeur minimale de $\varphi(\alpha, 0, \delta)$ pour n'importe quelle position le long de l'arc. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min_{\delta_w \leq \delta \leq \delta_e} \varphi(\alpha, 0, \delta) \quad (92)$$

où:

δ_e : est la différence en longitude à l'extrémité orientale de la portion opérationnelle de l'arc orbital

δ_w : est la différence en longitude à l'extrémité occidentale de la portion opérationnelle de l'arc orbital.

Cas 3: Stations spatiales sur une portion de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires avec inclinaison d'orbite

Pour les stations spatiales fonctionnant sur des orbites légèrement inclinées et situées sur une portion de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires avec une différence en longitude nominale entre δ_e et δ_w , il faut prendre en considération l'inclinaison maximale de l'orbite pendant la durée de leur exploitation i_s . On peut appliquer les équations (85) à (90) pour déterminer l'angle hors axe minimal pour chacun des quatre arcs en azimut/élévation qui délimite la trajectoire de la station en angle et en élévation. Ces arcs sont délimités par les latitudes maximale et minimale des points subsatellites et par les extrêmes de la différence en longitude entre la station spatiale et la station terrienne lorsque la station spatiale fonctionne à son inclinaison maximale. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min_{n=1 \text{ à } 4} \varphi_n(\alpha) \quad (93)$$

avec:

$$\varphi_1(\alpha) = \min \varphi(\alpha, -i_s, \delta) \quad (94)$$

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

$$\varphi_2(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i_s, \delta) \quad (95)$$

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

$$\varphi_3(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i, \delta_w - \delta_s) \quad (96)$$

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

$$\varphi_4(\alpha) = \min \varphi(\alpha, i, \delta_e + \delta_s) \quad (97)$$

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

$$\delta_s = (i_s / 15)^2 \quad (98)$$

où:

i_s : angle d'inclinaison opérationnel maximal de l'orbite du satellite

δ_s : variation maximale en longitude par rapport à la valeur nominale du point subsatellite d'un satellite ayant une inclinaison d'orbite i_s .

Cas 4: Une seule station spatiale, orbites inclinées

Pour une seule station spatiale fonctionnant avec une différence en longitude nominale de δ_0 et avec une inclinaison orbitale maximale de i_s , on détermine $\varphi(\alpha)$ de la même façon que dans le cas 3, sauf qu'ici $\delta_e = \delta_w = \delta_0$.

On peut déterminer les angles hors axe minimum par les équations (93), (94), (95), (96) et (97) par incréments le long d'un contour de délimitation. La taille du pas en inclinaison i ou en longitude δ doit être compris entre $0,5^\circ$ et $1,0^\circ$ et les limites des fourchettes doivent être incluses dans le calcul.

Le profil de l'horizon $\varepsilon_n(\alpha)$ utilisé pour déterminer $\varphi(\alpha)$ est indiqué pour des incréments d'azimut ne dépassant pas 5° .

3 Détermination du gain d'antenne

On utilise la relation $\varphi(\alpha)$ pour calculer le gain d'antenne en direction de l'horizon (dBi), $G(\varphi)$ en fonction de l'azimut α en se servant du diagramme d'antenne effectif de la station terrienne ou d'une formule en donnant une bonne approximation. Par exemple, lorsque le rapport entre le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde est égal ou supérieur à 35, on utilise l'équation suivante:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{amax} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log \varphi & \text{pour } \varphi_r \leq \varphi < 36^\circ \\ -10 & \text{pour } 36^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (99)$$

$$G_1 = \begin{cases} -1 + 15 \log (D/\lambda) & \text{dBi} & \text{pour } D/\lambda \geq 100 \\ -21 + 25 \log (D/\lambda) & \text{dBi} & \text{pour } 35 \leq D/\lambda < 100 \end{cases}$$

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

$$\varphi_r = \begin{cases} 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} & \text{degrés} & \text{pour } D/\lambda \geq 100 \\ 100 (\lambda/D) & \text{degrés} & \text{pour } 35 \leq D/\lambda < 100 \end{cases}$$

Lorsqu'on dispose d'une meilleure représentation du diagramme d'antenne effectif, on peut l'utiliser.

Dans les cas où D/λ n'est pas donné, on peut en faire une évaluation à partir de l'expression:

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

où:

G_{amax} : gain d'antenne de l'axe du faisceau principal (dBi)

D : diamètre de l'antenne (m)

λ : longueur d'onde (m)

G_1 : gain du premier lobe latéral (dBi).

APPENDICE 4

À L'ANNEXE 1

Gain d'antenne en direction de l'horizon pour des stations terriennes fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires

Le présent Appendice présente les méthodes qui peuvent être utilisées pour déterminer le gain d'antenne en direction de l'horizon pour une station terrienne fonctionnant avec des satellites non géostationnaires, en utilisant la méthode TIG décrite au § 2.2.1 de l'Annexe 1 et la méthode statistique décrite au § 2.2.2 de l'Annexe 1. Il donne également un exemple d'application de la méthode TIG.

1 Détermination du gain d'antenne en direction de l'horizon en utilisant la méthode TIG

Dans sa mise en œuvre la plus simple, la méthode TIG dépend de l'angle d'élévation minimal de l'axe du faisceau de l'antenne de la station terrienne (ϵ_{sys}), paramètre de système ayant la même valeur pour tous les azimuts depuis la station terrienne. Si l'angle d'élévation de l'horizon pour un azimut considéré est ϵ_h (degrés), l'angle de séparation minimal entre l'horizon à cet azimut et tout angle de pointage possible pour l'axe du faisceau principal de l'antenne (φ_{min}) est égal à la différence entre ces deux angles ($\epsilon_{sys} - \epsilon_h$) mais n'est pas inférieur à zéro degré. L'angle de séparation maximal entre l'horizon à cet azimut et tout angle de pointage possible pour l'axe du faisceau principal de l'antenne (φ_{max}) est égal à la différence entre la somme de ces deux angles et 180° ($180 - \epsilon_{sys} - \epsilon_h$). On obtient les valeurs maximale et minimale du gain en direction de l'horizon pour l'azimut considéré à partir du diagramme de gain de l'antenne de la station terrienne à ces angles hors axe. En l'absence de diagramme, on peut utiliser le diagramme du § 3 de l'Appendice 3 à l'Annexe 1.

D'autres limitations peuvent intervenir dans la détermination des valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon dans le cas d'une station terrienne fonctionnant avec une constellation de satellites non géostationnaires qui ne sont pas sur orbite quasi polaire. En pareil cas, selon la latitude de la station terrienne, il peut y avoir des parties de l'hémisphère au-dessus du plan horizontal, au niveau de la station terrienne, dans lesquelles il n'y aura pas de satellite. Pour tenir compte de ces limites de visibilité dans la méthode TIG, il faut tout d'abord déterminer, pour un ensemble d'azimuts autour de la station terrienne très proches, l'angle d'élévation minimal auquel un satellite peut être visible. Cet angle d'élévation minimum de visibilité du satellite (ϵ_v) peut être déterminé à partir de la visibilité du bord de la nappe formée par toutes les orbites possibles ayant l'inclinaison d'orbite et l'altitude des satellites de la constellation.

Le plus petit angle d'élévation en direction duquel l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne pointera, pour tout azimut, est l'angle d'élévation composite minimal (ϵ_c) qui est égal à l'angle d'élévation minimum de visibilité du satellite (ϵ_v) ou à l'angle d'élévation minimum de la station terrienne (ϵ_{sys}), selon celui qui est le plus grand. Après avoir déterminé l'angle d'élévation composite minimum pour tous les azimuts, selon la méthode décrite au § 1.1 du présent Appendice, on peut utiliser le profil résultant des angles d'élévation composites minimaux, dans la méthode décrite au § 1.2 du présent Appendice, pour déterminer les valeurs maximale et minimale du gain en direction de l'horizon, pour tout azimut.

1.1 Détermination des limites de visibilité des satellites

Les limites de visibilité d'une constellation de satellites peuvent être déterminées à partir de l'angle d'inclinaison du satellite le plus incliné et de l'altitude du satellite de la constellation le plus bas. Pour ce faire, on peut distinguer six cas, lesquels ne s'appliquent pas tous nécessairement pour une constellation donnée et une latitude donnée de la station terrienne. L'azimut et la limite inférieure correspondante de l'angle d'élévation sont déterminés selon une méthode paramétrique utilisant un ensemble de points au bord de la nappe orbitale de la constellation. Cette méthode consiste à établir cette relation pour les azimuts à l'est d'une station située dans l'hémisphère Nord. On obtient par symétrie les angles d'élévation pour des azimuts à l'ouest de la station et pour tous les azimuts des stations situées dans l'hémisphère Sud. On peut utiliser les équations suivantes, qui ne sont valables que pour des orbites circulaires, pour déterminer le gain d'antenne en direction de l'horizon dans toutes les situations concrètes.

$$\psi(\delta) = \arccos(\sin \zeta_e \sin i_s + \cos \zeta_e \cos i_s \cos \delta) \quad (100)$$

$$\varepsilon_v(\delta) = \arcsin \left[\frac{K_1 \cos[\psi(\delta)] - 1}{\left(1 + K_1^2 - 2K_1 \cos[\psi(\delta)]\right)^{1/2}} \right] \quad (101)$$

$$\alpha_0(\delta) = \arccos \left[\frac{\sin i_s - \cos[\psi(\delta)] \sin \zeta_e}{\sin [\psi(\delta)] \cos \zeta_e} \right] \quad (102)$$

avec:

$$\alpha(\delta) = \begin{cases} \alpha_0(\delta) \text{ et} \\ 360^\circ - \alpha_0(\delta) & \text{pour des stations terriennes au nord de l'équateur} \\ 180^\circ - \alpha_0(\delta) \text{ et} \\ 180^\circ + \alpha_0(\delta) & \text{pour des stations terriennes au sud de l'équateur} \end{cases} \quad (103)$$

où:

i_s : inclinaison de l'orbite des satellites de la constellation supposée être positive et comprise entre 0° et 90°

ζ_e : valeur absolue de la latitude de la station terrienne

δ : différence de longitude entre la station terrienne et un point au bord de la nappe orbitale de la constellation

$\psi(\delta)$: arc du grand cercle entre la station terrienne et un point à la surface de la Terre situé directement au-dessous du point au bord de la nappe orbitale de la constellation

$\alpha(\delta)$: azimut entre la station terrienne et un point au bord de la nappe orbitale

$\alpha_0(\delta)$: azimut principal, compris entre 0° et 180° , depuis une station terrienne jusqu'à un point au bord de la nappe orbitale

$\varepsilon_v(\delta)$: angle d'élévation depuis la station terrienne jusqu'à un point au bord de la nappe orbitale

K_1 : rayon de l'orbite/rayon de la Terre pour le satellite de la constellation à la plus basse altitude (rayon de la Terre = 6 378,14 km)

$\psi_m = \arccos(1/K_1)$.

Tous les arcs indiqués ci-dessus sont en degrés.

Pour toute latitude à la surface de la Terre, on peut déterminer l'azimut pour lequel l'angle d'élévation minimal par rapport à un satellite peut être supérieur à zéro et les angles d'élévation correspondants en effectuant les calculs dans les cas suivants. Pas plus de deux de ces cas ne s'appliqueront pour une latitude donnée. Pour des situations non couvertes par les cas suivants, aucun satellite n'est visible à des angles d'élévation inférieurs ou égaux à 90° pour tous les azimuts.

Cas 1: Pour: $\zeta_e \leq i_s - \psi_m$

Dans ce cas, un satellite peut être visible à l'horizon pour tous les azimuts autour de la station terrienne ($\varepsilon_v = 0$).

Cas 2: Pour: $i_s - \psi_m < \zeta_e \leq \arcsin(\sin i_s \cos \psi_m)$

Dans ce cas, les angles d'azimut et d'élévation sont déterminés à l'aide de paramètres en choisissant un ensemble de valeurs de δ , uniformément espacées sur l'intervalle allant de 0 à δ_1 et en appliquant les équations (100) à (103). A cette fin, l'espacement entre les valeurs ne doit pas dépasser $1,0^\circ$ et les limites de la fourchette doivent être incluses.

$$\delta_1 = \arccos \left[\frac{\cos \psi_m - \sin \zeta_e \sin i_s}{\cos \zeta_e \cos i_s} \right]$$

Pour tout azimut principal ($\alpha_0(\delta)$) qui n'est pas inclus dans l'ensemble, l'angle d'élévation minimal est égal à zéro ($\varepsilon_v = 0$), sauf pour les azimuts où le Cas 6 s'applique aussi.

Cas 3: Pour: $\arcsin(\sin i_s \cos \psi_m) < \zeta_e < i_s$ et $\zeta_e < 180^\circ - \psi_m - i_s$

Dans ce cas, les angles d'azimut et d'élévation sont déterminés à l'aide de paramètres, en choisissant un ensemble de valeurs de δ , uniformément espacées sur l'intervalle allant de 0 à δ_2 et en appliquant les équations (100) à (103). A cette fin, l'espacement entre les valeurs ne doit pas dépasser $1,0^\circ$ et les limites de la fourchette doivent être incluses.

$$\delta_2 = 2 \arctg \left[\frac{\sqrt{\sin^2 \psi_m - \cos^2 i_s \sin^2 \delta_1}}{\sin \zeta_e \cos i_s \sin \delta_1} \right] - \delta_1$$

Pour tout azimut principal ($\alpha_0(\delta)$) qui n'est pas inclus dans l'ensemble, l'angle d'élévation minimal est égal à 0 ($\varepsilon_v = 0$), sauf pour les azimuts où le Cas 6 s'applique aussi.

Cas 4: Pour: $i_s \leq \zeta_e < i_s + \psi_m$ et $\zeta_e < 180^\circ - i_s - \psi_m$

Dans ce cas, l'angle d'élévation minimal est donné explicitement en fonction de l'angle d'azimut principal α_0 comme suit:

$$\varepsilon_v = \begin{cases} 90^\circ & \text{pour } 0 \leq \alpha_0 < \alpha_2 \\ 0 & \text{pour } \alpha_2 \leq \alpha_0 \leq 180^\circ \end{cases}$$

où:

$$\alpha_2 = \arccos \left[\frac{\sin i_s - \cos \psi_m \sin \zeta_e}{\sin \psi_m \cos \zeta_e} \right]$$

On notera qu'un angle d'élévation minimal de 90° dans cette formule indique qu'aucun satellite n'est visible à des angles d'élévation inférieurs ou égaux à 90° à ces azimuts; par ailleurs, dans la gamme des azimuts principaux où l'angle d'élévation minimal est égal à 0, le Cas 6 peut aussi s'appliquer.

Cas 5: Pour: $180^\circ - i_s - \psi_m \leq \zeta_e \leq 90^\circ$

Dans ce cas, un satellite peut être visible à l'horizon pour tous les azimuts autour de la station terrienne ($\varepsilon_v = 0$).

Cas 6: Pour: $\zeta_e < \psi_m - i_s$

Ce cas peut se présenter avec les Cas 2, 3 ou 4 et un satellite peut être visible uniquement au-dessus d'un angle d'élévation minimal pour d'autres azimuts principaux.

Dans ce cas, les autres azimuts principaux et les angles d'élévation correspondants sont déterminés à l'aide de paramètres en choisissant un ensemble de valeurs de δ , uniformément espacées sur l'intervalle allant de 0 à δ_3 et en appliquant les équations (100) à (103), i_s étant remplacé par $-i_s$. A cette fin, l'espacement entre les valeurs ne doit pas dépasser $1,0^\circ$ et les limites de la fourchette doivent être incluses.

$$\delta_3 = \arccos \left[\frac{\cos \psi_m + \sin \zeta_e \sin i_s}{\cos \zeta_e \cos i_s} \right]$$

1.2 Détermination du gain minimal et du gain maximal en direction de l'horizon à partir du profil de l'angle d'élévation minimal visible

Le gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon est déterminé à partir du profil des valeurs de l'angle d'élévation composite minimum (ε_c). Pour tout azimut, cet angle est l'angle d'élévation minimal de visibilité du satellite à cet azimut (ε_v) ou l'angle d'élévation minimal pour la station terrienne (ε_{sys}), selon celui qui est le plus grand. On peut utiliser la méthode suivante pour déterminer les valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon pour chaque azimut considéré.

On peut utiliser l'équation suivante pour déterminer l'espacement angulaire entre le profil de l'horizon, pour un angle d'azimut α et un angle d'élévation de l'horizon ε_h , et un point situé sur le profil de l'angle d'élévation composite minimal, lorsque l'angle d'élévation composite minimal est ε_c pour un angle d'azimut de α_c :

$$\varphi(\alpha, \alpha_c) = \arccos [\sin \varepsilon_h(\alpha) \sin (\varepsilon_c(\alpha_c)) + \cos \varepsilon_h(\alpha) \cos (\varepsilon_c(\alpha_c)) \cos (\alpha - \alpha_c)] \quad (104)$$

où:

- α : azimut de la direction considérée
- $\varepsilon_h(\alpha)$: angle d'élévation de l'horizon à l'azimut α considéré
- $\varepsilon_c(\alpha_c)$: angle d'élévation composite minimal à l'azimut, α_c
- α_c : azimut correspondant à ε_c .

La valeur minimale de l'angle de séparation φ_{min} pour l'azimut considéré est déterminée à partir de la valeur minimale de $\varphi(\alpha, \alpha_c)$ pour tout azimut α_c et la valeur maximale φ_{max} à partir de la valeur maximale de $\varphi(\alpha, \alpha_c)$ pour tout azimut α_c . Pour les angles d'azimut (α), on procède en général par incréments de 5° mais pour déterminer avec précision l'angle de séparation minimal, les valeurs de l'angle d'élévation composite minimal ε_c doivent être déterminées pour un espacement en azimut α_c de 1° ou moins. Lorsque les procédures décrites au § 1.1 du présent Appendice ne donnent pas un profil de l'angle d'élévation composite minimal avec un espacement suffisamment petit entre les angles d'azimut, on peut utiliser une interpolation linéaire pour déterminer les valeurs intermédiaires nécessaires. Les valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon, G_{max} et G_{min} à utiliser dans les équations du § 2.2.1 de l'Annexe 1 pour l'azimut considéré sont déterminées sur le diagramme d'antenne de la station terrienne à partir, respectivement, des angles hors axe φ_{min} et φ_{max} . Si ce diagramme n'est pas connu, on utilise le diagramme du § 3 de l'Appendice 3 de l'Annexe 1. Souvent, φ_{max} sera suffisamment grand pour tous les azimuts de sorte que G_{min} sera égal au gain minimal du diagramme d'antenne pour tous les azimuts.

1.3 Exemple de calcul du gain d'antenne en direction de l'horizon avec la méthode TIG

Cette méthode est illustrée pour une station terrienne de réception fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire ayant les paramètres donnés dans le Tableau 6. La valeur de l'angle d'élévation composite minimal de la station terrienne ε_c , est prise comme étant égale à l'angle d'élévation minimal du système, ε_{sys} , ou l'angle d'élévation minimal de visibilité du satellite déterminé à partir de la constellation pour une station terrienne à 40° de latitude, selon l'angle qui est le plus grand. Ainsi, l'angle d'élévation composite minimal dans cet exemple varie entre 6° et 35° .

TABLEAU 6

Paramètres de la simulation utilisés dans l'exemple

Altitude de la constellation	1 469 km
Forme de l'orbite	Circulaire
Inclinaison de l'orbite	53°
Nombre de plans	20
Nombre de satellites par plan	4
Décalage de phase entre les premiers satellites des plans adjacents	67,5°
Type de zone	A2 (terres intérieures)
Pourcentage de temps: $p\%$	0,0015%
Latitude de la station terrienne	40° N
Diagramme d'antenne	Max (29 – 25 log(φ) or –10) dBi
Angle d'élévation minimal de la station terrienne	6°
Fréquence	11,2 GHz
Angle d'élévation de l'horizon	0°
Limite de puissance brouilleuse maximale ($P_r(p)$)	–143 dBW
Puissance à l'émission, service fixe	–3 dBW
Gain d'antenne, service fixe	45 dBi

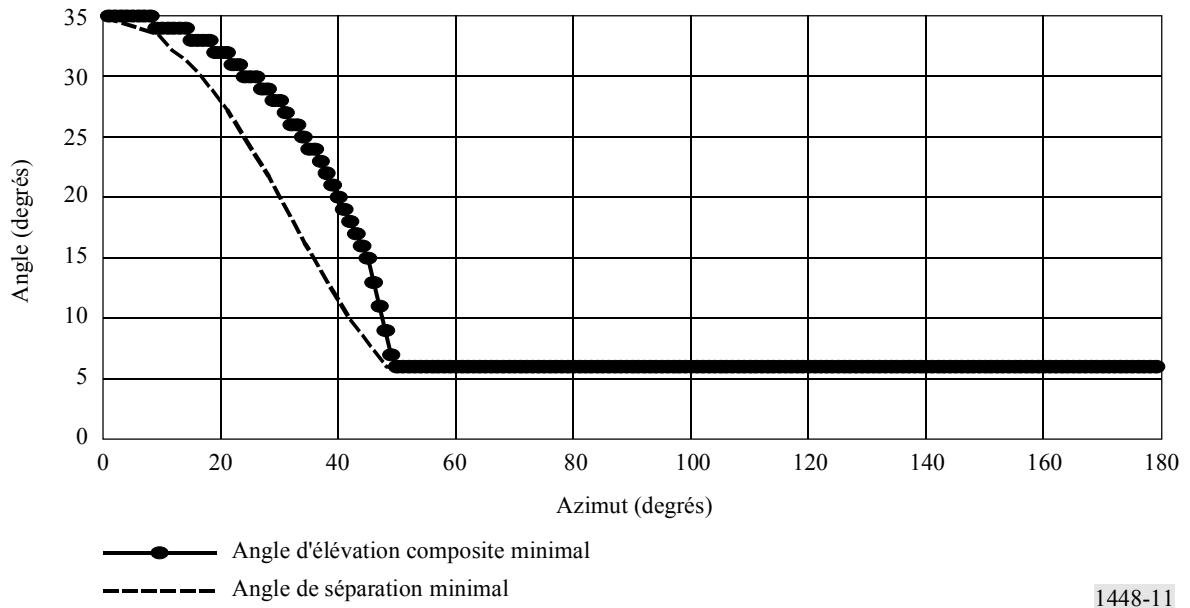
La Fig. 11 montre l'angle d'élévation composite minimal et l'angle de séparation minimal, φ_{min} , dans le cas d'un angle d'élévation de l'horizon de 0°, en fonction de l'azimut. La Fig. 12 montre le gain d'antenne maximal en direction de l'horizon en fonction de l'azimut.

Dans cet exemple, le gain d'antenne minimal de la station terrienne de réception effectuant la coordination en direction de l'horizon a une valeur constante de –10 dBi pour chaque azimut. Etant donné que le gain maximal est toujours inférieur à 9,6 dBi, $G_e = G_{max}$ pour chaque azimut ($G_{max} - G_{min} < 20$ dB).

La Fig. 13 montre le contour de coordination pour le gain en direction de l'horizon calculé selon la méthode TIG (Fig. 12). Le fait d'utiliser un angle d'élévation composite minimal a pour effet de réduire la distance nécessaire pour tous les azimuts compris entre 310° et 50°.

FIGURE 11

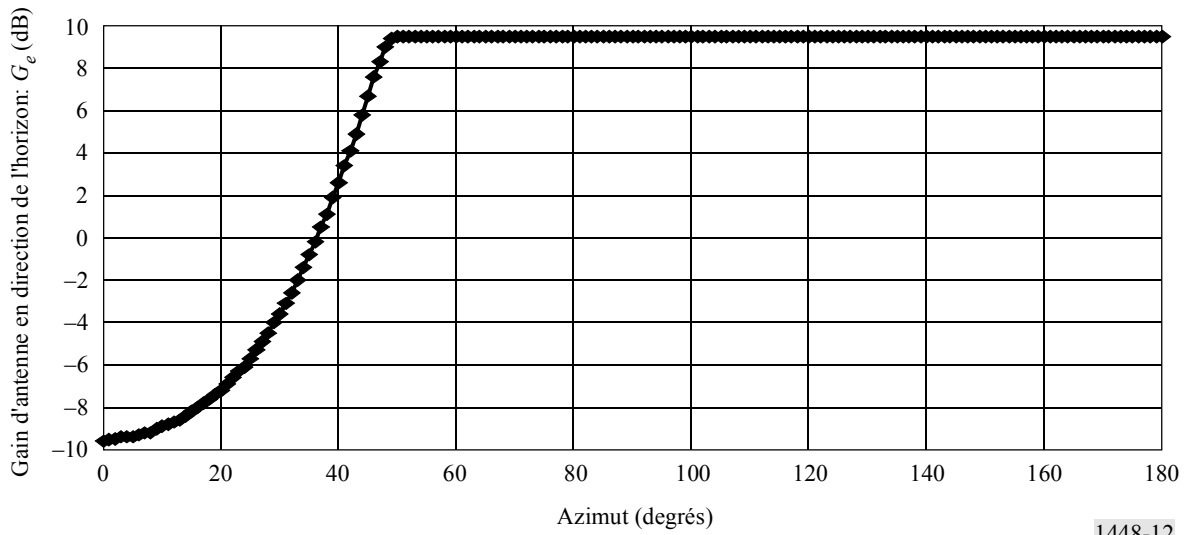
Angle d'élévation composite minimal, ϵ_c , et angle de séparation minimal, ϕ_{min} , en fonction de l'azimut pour une station terrienne située à 40° N de latitude et fonctionnant avec un système du service fixe par satellite non OSG



1448-11

FIGURE 12

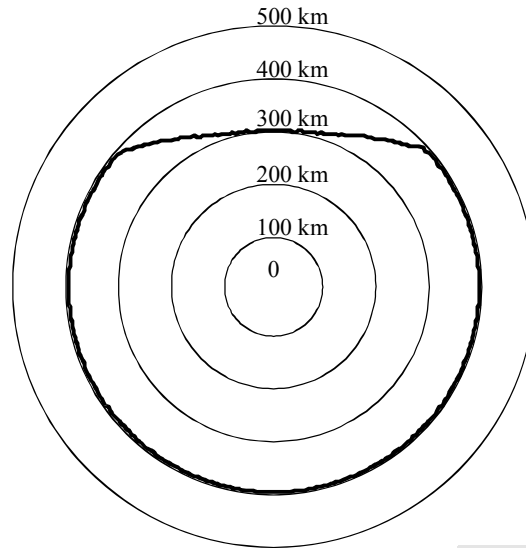
Gain d'antenne en direction de l'horizon, G_e , en fonction de l'azimut



1448-12

FIGURE 13

Contour en mode de propagation (1) pour l'exemple donné



1448-13

2 Détermination de la distribution du gain d'antenne en direction de l'horizon selon la méthode TVG

Dans la méthode TVG utilisée pour déterminer la zone de coordination d'une station terrienne, il faut déterminer des statistiques de gain d'antenne en direction de l'horizon pour tous les azimuts (par incréments, par exemple de 5°) autour de la station terrienne. Pour déterminer la distribution du gain d'antenne en direction de l'horizon, on a besoin d'avoir des informations sur la station terrienne et sur l'orbite et notamment de savoir si on utilise le maintien en position pour conserver un seul trajet orbital (système de trajectoire au sol répétitive ou non). Compte tenu des directives données au § 2.2 de l'Annexe 1, on calcule comme suit la distribution cumulative du gain d'antenne en direction de l'horizon variant dans le temps, d'une station terrienne d'émission ou de réception fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires:

- Simuler la constellation de la station spatiale non géostationnaire sur une période suffisamment longue, avec un incrément de temps adapté à l'altitude de l'orbite, afin d'obtenir une représentation valable des variations du gain d'antenne. Pour des constellations à trajectoire au sol répétitive, simuler le trajet orbital pour chaque satellite visible depuis la station terrienne sur la période de répétition de la trajectoire au sol. Pour des constellations à trajectoire au sol non répétitive, simuler l'orbite de chaque satellite de la constellation sur une période suffisamment longue pour obtenir une représentation stable de la distribution.
- Pour chaque incrément de temps, déterminer l'azimut et l'angle d'élévation de chaque satellite qui est visible au niveau de la station terrienne et au-dessus de l'angle d'élévation minimal auquel la station terrienne fonctionne. Outre l'angle d'élévation minimum, on peut utiliser d'autres critères de fonctionnement pour éviter certaines configurations géométriques, par exemple, évitement de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires (pas de transmission entre une station terrienne et un satellite non géostationnaire à $\pm X^\circ$ de l'arc de l'orbite des satellites géostationnaires).
- Pour chaque incrément de temps et pour chaque satellite en communication avec la station terrienne, utiliser le diagramme d'antenne effectif de la station terrienne ou une bonne approximation de celui-ci pour calculer le gain en direction de l'horizon pour chaque azimut et chaque angle d'élévation autour de la station terrienne.
- Les valeurs du gain d'antenne en direction de l'horizon sont situées entre G_{min} et G_{max} . On les obtient en appliquant les méthodes décrites au § 1 du présent Appendice. Choisir ensuite un incrément de gain g (dB) et subdiviser la gamme des valeurs de gain par un nombre de niveaux de gain entre G_{min} et G_{max} ,

c'est-à-dire, $G = \{G_{min}, G_{min} + g, G_{min} + 2g, \dots, G_{max}\}$

Ces niveaux de gain déterminent un ensemble d'intervalles de gain de telle sorte que le $n^{\text{ième}}$ intervalle de gain ($n = 1, 2, 3, \dots$) comprend les valeurs de gain égales ou supérieures à $G_{min} + (n - 2)g$ et inférieures à $G_{min} + (n - 1)g$.

Il est recommandé d'utiliser une valeur de $g = 0,1$ à $0,5$ dB.

Pour chaque azimut à l'horizon autour de la station terrienne, calculer le temps total pendant lequel le gain en direction de l'horizon prend une valeur dans chaque intervalle de gain d'une largeur g (dB).

- La fonction fdp pour chaque azimut est déterminée en divisant le temps dans chaque intervalle de gain par le temps de simulation total.

Déterminer la fonction de distribution cumulative (CDF) du gain en direction de l'horizon pour chaque azimut en déterminant la fonction cumulative de densité de gain pour cet azimut. La valeur de la fonction CDF nécessaire pour une valeur de gain spécifique est le pourcentage de temps pendant lequel le gain est inférieur ou égal à cette valeur de gain.

3 Equations à utiliser pour déterminer les emplacements des satellites en orbite

On peut utiliser les équations suivantes dans la méthode algorithmique susmentionnée pour déterminer l'emplacement des satellites d'une constellation. Ces équations sont valables pour des orbites circulaires et elliptiques.

Pour une Terre sphérique, l'angle d'élévation, ε_s , en direction d'un satellite non géostationnaire vu depuis une station terrienne fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire est donné par l'équation suivante:

$$\varepsilon_s = \arcsin \left\{ (r_s \cos(\psi) - r_e) / r_s^2 + r_e^2 - 2 r_s r_e \cos(\psi) \right\}^{0,5} \quad (105)$$

où:

$$\cos(\psi) = \cos(\zeta) [\cos(\lambda_r t + \lambda_e - \lambda_s) \cos(\omega_p + v) + \sin(\lambda_r t + \lambda_e - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega_p + v)] \\ + \sin(\zeta) \sin(i_s) \sin(\omega_p + v)$$

$$\lambda_r = \omega_e - \Omega_r$$

$$\omega_e: \text{ vitesse de rotation de la Terre} = 4,178075 \times 10^{-3} \text{ (degrés/s)}$$

$$\Omega_r: \text{ vitesse de précession des noeuds de l'orbite du satellite non géostationnaire}$$

$$\Omega_r = -[(1,15325 \times 10^{-4}) / (1 - e^2)^2] (r_e / a)^{3,5} \cos(i_s) \text{ (degrés/s)}$$

$$\psi: \text{ angle formé par les vecteurs depuis le centre de la Terre jusqu'au satellite non géostationnaire et depuis le centre de la Terre jusqu'à la station terrienne effectuant la coordination (degrés)}$$

$$r_s: \text{ distance entre le centre de la Terre et le satellite non géostationnaire au temps } t \text{ (km)}$$

$$r_e: \text{ distance entre le centre de la Terre et la station terrienne effectuant la coordination} = 6378,14 \text{ km}$$

$$a: \text{ demi-grand axe de l'orbite du satellite non géostationnaire (km)}$$

$$e: \text{ excentricité de l'orbite du satellite non géostationnaire } (e = 0 \text{ pour des orbites circulaires et } 0 < e < 1 \text{ pour des orbites elliptiques)}$$

$$\lambda_s: \text{ longitude (voir la Note 1) du noeud ascendant de l'orbite du satellite non géostationnaire au temps } t = 0 \text{ (degrés)}$$

$$i_s: \text{ angle d'inclinaison de l'orbite du satellite non géostationnaire (degrés)}$$

$$\omega_p: \text{ argument du périégée de l'orbite du satellite non géostationnaire au temps } t \text{ (degrés)}$$

$$v: \text{ anomalie vraie du satellite non géostationnaire sur son orbite au temps } t \text{ (degrés)}$$

$$\lambda_e, \zeta: \text{ longitude et latitude de la station terrienne effectuant la coordination (degrés)}$$

$$t: \text{ temps considéré (s).}$$

NOTE 1 – Si l'orbite est fortement elliptique, il sera peut-être nécessaire de rapporter ce paramètre à l'ascension droite du noeud ascendant.

Le vecteur satellite depuis le centre de la Terre en fonction du temps est donné par:

$$\vec{r}_s = r_s \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = r_s \begin{pmatrix} \sin(\lambda_r t - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega_p + v) + \cos(\lambda_r t - \lambda_s) \cos(\omega_p + v) \\ \cos(\lambda_r t - \lambda_s) \cos(i_s) \sin(\omega_p + v) - \sin(\lambda_r t - \lambda_s) \cos(\omega_p + v) \\ \sin(i_s) \sin(\omega_p + v) \end{pmatrix} \quad (106)$$

La longitude (λ_t) et la latitude (ζ_t) du point subsatellite en fonction du temps sont (voir la Note 2):

$$\lambda_t = \arctg(y/x) \quad \zeta_t = \arcsin(z) \quad (107)$$

NOTE 2 – L'arc tangent dans les équations (107) et (108) doit être calculé à l'aide d'une fonction arctangente quadratique.

L'azimut (α_s) du satellite non géostationnaire vu depuis la station terrienne effectuant la coordination est de:

$$\alpha_s = \arctg \left\{ \frac{-\cos(\zeta_t)\sin(\delta)}{\cos(\zeta)\sin(\zeta_t) - \sin(\zeta)\cos(\zeta_t)\cos(\delta)} \right\} \quad (108)$$

où:

$$\delta = \lambda_e - \lambda_t \quad (109)$$

L'angle $\varphi(\alpha_s, \varepsilon_s)$ exprimé en fonction des angles d'azimut et d'élévation (α_s et ε_s) de l'axe du faisceau principal de la station terrienne effectuant la coordination et les angles d'azimut et d'élévation de l'horizon ($\alpha, \varepsilon_h(\alpha)$) dans la direction considérée sont donnés par:

$$\varphi(\alpha_s, \varepsilon_s) = \arccos \left\{ \cos(\alpha_s - \alpha) \cos(\varepsilon_s) \cos(\varepsilon_h(\alpha)) + \sin(\varepsilon_s) \sin(\varepsilon_h(\alpha)) \right\} \quad (110)$$

Pour des orbites elliptiques v, r_s et l'argument du périégée ω_p ne sont pas constants dans le temps comme dans le cas des orbites circulaires et l'anomalie vraie d'un satellite sur son orbite elliptique au temps t est donnée par:

$$v = 2 \arctg \left[\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \left(\frac{\xi_t}{2} \right) \right] \quad \text{degrés} \quad (111)$$

où ξ_t (rad) est l'anomalie d'excentricité que l'on obtient en résolvant l'équation suivante:

$$\eta_t = \xi_t - e \sin(\xi_t) \quad \text{rad} \quad (112)$$

Si l'anomalie moyenne initiale η_0 est connue au temps initial t_0 , l'anomalie moyenne η_t à un temps t ultérieur est donnée par:

$$\eta_t = \eta_0 + \eta_r (t - t_0) \quad \text{rad} \quad (113)$$

où:

$$\eta_0 = \xi_0 - e \sin(\xi_0) \quad \text{rad} \quad (114)$$

$$\xi_0 = \arccos \left\{ \frac{e + \cos(v_0)}{1 + e \cos(v_0)} \right\} \quad \text{rad} \quad (115)$$

η_r : vitesse de rotation angulaire moyenne, $\eta_r = \mu^{0,5} / a^{1,5}$ (rad/s)

μ : constante gravitationnelle de la Terre = 398 600,5 (km³/s²)

v_0 : anomalie vraie spécifiée au temps t_0 (degrés).

On détermine par itération la valeur appropriée de ξ_t .

La distance entre le centre de la Terre et le satellite non géostationnaire sur son orbite elliptique au temps t est:

$$r_s = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos(v)} \quad \text{km} \quad (116)$$

L'argument du périégée, angle formé par le noeud ascendant et le périégée, est donné par:

$$\omega_p = \omega_{p0} + \omega_r (t - t_0) \quad \text{degrés} \quad (117)$$

où:

ω_{p0} : argument du périhélie au temps t_0 (degrés)

$$\omega_r = \frac{5,7662 \times 10^{-5}}{(1 - e^2)^2} \left(\frac{r_e}{a} \right)^{3,5} [5 (\cos i_s)^2 - 1] \quad \text{degrés/s} \quad (118)$$

APPENDICE 5

À L'ANNEXE 1

Détermination de la distance de coordination en utilisant la méthode TVG

1 Détermination de la distance nécessaire en utilisant la méthode TVG

Pour déterminer la zone de coordination d'une station terrienne selon la méthode TVG, il faut calculer la distance de coordination. Ce calcul est basé sur une distribution cumulative du gain d'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon pour chaque azimut considéré (par incréments par exemple de 5°). On peut établir à cette fin des distributions appropriées en utilisant la méthode décrite au § 2 de l'Appendice 4 de l'Annexe 1. Le calcul de la distance de coordination pour chaque azimut se fait comme suit.

Etape 1: A partir de la distribution cumulative complémentaire du gain d'antenne en direction de l'horizon, déterminer, pour l'azimut considéré, le pourcentage de temps p_n pendant lequel le gain en direction de l'horizon dépasse le niveau G_{en} , où

$$G_{en} = G_{min} + (n - 1) g \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (119)$$

avec:

G_{min} : valeur minimale du gain en direction de l'horizon, et

g : incrément de gain.

Etape 2: Pour chaque pourcentage, p_n , égal ou supérieur à 2 p%, le pourcentage de temps à utiliser pour déterminer l'affaiblissement sur le trajet en mode de propagation (1) est p_v .

$$p_v = 100 p/p_n \quad \% \quad \text{pour} \quad p_n \geq 2p\% \quad (120)$$

Pour chaque pourcentage de temps, déterminer la distance d_n (km) pour laquelle l'affaiblissement sur le trajet prévu en mode de propagation (1) est égal à l'affaiblissement nécessaire minimal en mode de propagation (1), en utilisant le modèle de propagation conformément au § 4 de l'Annexe 1 et l'équation:

$$L_{bn}(p_v) = P_t + G_{en} + G_x - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (121)$$

Les valeurs de p_v doivent être situées à l'intérieur du pourcentage de temps du modèle pour le mode de propagation (1) (voir § 1.5.1 de l'Annexe 1).

Etape 3: La distance nécessaire en mode de propagation (1) pour l'azimut considéré est la plus grande des distances d_n (km), calculée à l'Etape 2, sauf lorsque cette distance est atteinte pour la plus petite valeur de p_n qui est égale ou supérieure à 2p, conformément à l'équation (120). En pareil cas, la distance nécessaire en mode de propagation (1) pour l'azimut considéré est la distance déterminée à partir de l'équation (121) avec $G_{en} = G_{max}$ et $p_v = 50\%$ où G_{max} est la valeur maximale du gain en direction de l'horizon.

Etape 4: La distance de coordination en mode de propagation (1) pour l'azimut considéré est la distance nécessaire déterminée à l'Etape 3, étant entendu que la distance de coordination doit être comprise entre la distance de coordination minimale, d_{min} , et la distance de coordination maximale, d_{max1} . Ces limites sont données respectivement aux § 4.2 et 4.3 de l'Annexe 1.

2 Exemple de calcul d'un contour de coordination en utilisant la méthode TVG

Dans cet exemple de coordination, on prend en considération une station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non OSG et une station de Terre réceptrice fonctionnant dans la bande 6 875-7 055 MHz. Les paramètres systèmes utilisés pour déterminer le contour de coordination en mode de propagation (1) sont indiqués dans le Tableau 7.

TABLEAU 7
Paramètres systèmes utilisés dans l'exemple

<i>Paramètres orbitaux des satellites non géostationnaires</i>	
Altitude (km)	1 414
Nombre de satellites	48
Angle d'inclinaison (degrés)	52
<i>Paramètres de la station terrienne effectuant la coordination et fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires</i>	
Latitude (degrés)	50
Longitude (degrés)	0
Angle d'élévation de fonctionnement minimal (degrés)	10
Diagramme d'antenne	Equation (99)
Gain d'antenne maximal à l'émission (dBi)	43,5
Puissance à l'émission (dBW)	10,5
Largeur de bande (MHz)	1,23
<i>Paramètres de la station de Terre de réception</i>	
Modulation	Numérique
$p\%$	0,0025
Gain d'antenne à la réception (dBi)	47
Largeur de bande de référence (MHz)	1
Niveau de brouillage seuil, $P_r(p)$ (dBW)	-103

Le Tableau 8 donne le détail des calculs effectués pour déterminer les distances de coordination. Ces distances ont été déterminées à la fréquence centrale de la bande à l'aide de la méthode décrite au § 1 du présent Appendice. On a utilisé un incrément de 0,1 km et un incrément de gain d'antenne en direction de l'horizon de 0,1 dB pour établir les distributions du gain d'antenne en direction de l'horizon, conformément au § 2 de l'Appendice 4 à l'Annexe 1. La plus grande valeur dans la colonne d_n (km) de ces tableaux représente la distance de coordination à l'azimut spécifié. La Fig. 14 illustre le tracé du contour de coordination, déterminé à partir des distances de coordination par incréments d'azimut de 5°.

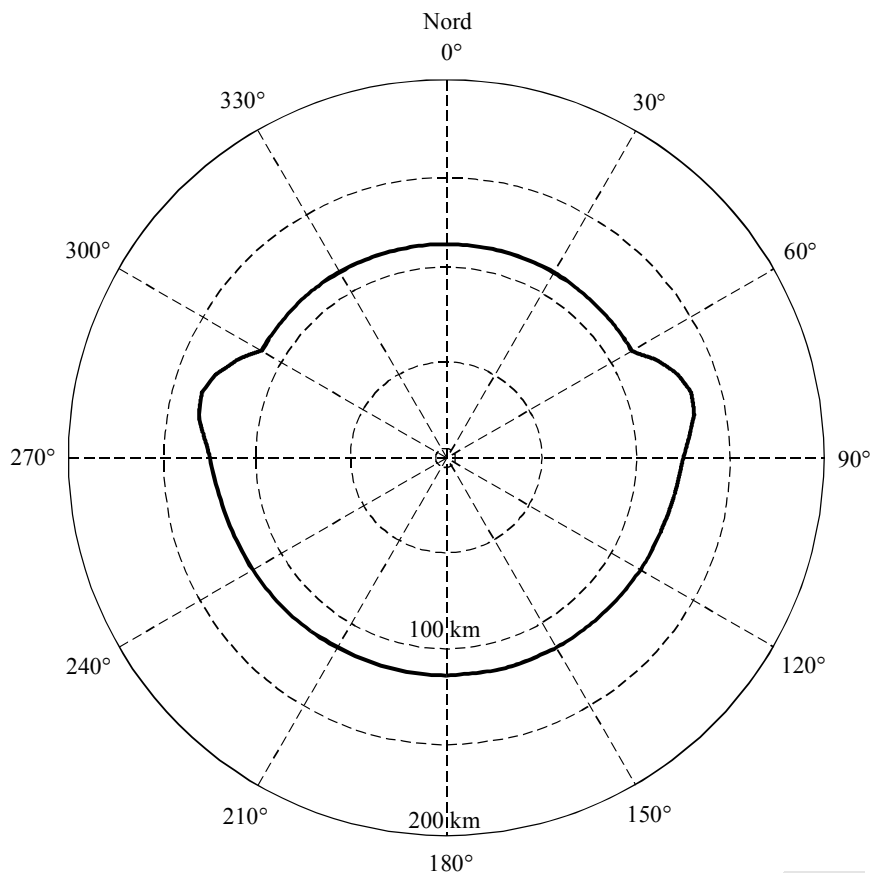
TABLEAU 8

Distances calculées pour une station terrienne d'émission fonctionnant
avec des stations spatiales non géostationnaires (azimut = 70°)

Indice du niveau de gain n	Gain d'antenne en direction de l'horizon G_{en} (dBi)	CDF complémentaire p_n (%)	$L_v = p/p_n$ (%)	Affaiblissement nécessaire (dB) $L_{bn}(p_v)$	Distance calculée d_n (km)
1	-10,0	100,00	0,0025	145,50	113,34
2	-9,5	14,75	0,0169	146,00	101,64
3	-9,0	13,77	0,0182	146,50	103,94
4	-8,5	12,84	0,0195	147,00	106,24
5	-8,0	11,93	0,0210	147,50	108,44
6	-7,5	11,07	0,0226	148,00	110,54
7	-7,0	10,24	0,0244	148,50	112,64
8	-6,5	9,45	0,0265	149,00	114,64
9	-6,0	8,69	0,0288	149,50	116,64
10	-5,5	7,97	0,0314	150,00	118,44
11	-5,0	7,28	0,0343	150,50	120,24
12	-4,5	6,63	0,0377	151,00	121,94
13	-4,0	6,02	0,0415	151,50	123,54
14	-3,5	5,43	0,0460	152,00	125,04
15	-3,0	4,87	0,0513	152,50	126,34
16	-2,5	4,35	0,0575	153,00	127,54
17	-2,0	3,85	0,0649	153,50	128,44
18	-1,5	3,39	0,0737	154,00	129,24
19	-1,0	2,94	0,0850	154,50	129,74
20	-0,7	2,70	0,0926	154,80	129,94
21	-0,6	2,62	0,0954	154,90	130,04
22	-0,5	2,53	0,0988	155,00	129,94
23	0,0	2,15	0,1163	155,50	129,84
24	0,5	1,79	0,1397	156,00	129,14
25	1,0	1,46	0,1712	156,50	127,84
26	1,5	1,15	0,2174	157,00	125,54
27	2,0	0,86	0,2907	157,50	121,74
28	2,5	0,61	0,4098	158,00	116,04
29	3,0	0,38	0,6579	158,50	106,04
30	3,5	0,18	1,3889	159,00	100,94
31	4,0	0,01	20,0000	159,50	100,94

FIGURE 14

Contour de coordination en mode de propagation (1) pour l'exemple donné



1448-14

APPENDICE 6

À L'ANNEXE 1

Détermination de la zone de coordination pour une station terrienne d'émission vis-à-vis de stations terriennes de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

1 Introduction

Pour déterminer la zone de coordination en mode de propagation (1) d'une station terrienne d'émission, vis-à-vis de stations terriennes de réception inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires, il faut déterminer le gain d'antenne en direction de l'horizon de la station terrienne de réception pour chaque azimut de la station terrienne d'émission. Il faut utiliser différentes méthodes pour déterminer la zone de coordination de la station terrienne effectuant la coordination, selon que cette station fonctionne avec des stations spatiales géostationnaires ou non géostationnaires. Lorsque la station terrienne effectuant la coordination et les stations terriennes de réception inconnues fonctionnent toutes avec des stations spatiales géostationnaires, il faut aussi déterminer le contour de coordination en mode de propagation (2).

On peut déterminer la zone de coordination d'une station terrienne d'émission vis-à-vis de stations terriennes de réception inconnues fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires en modifiant légèrement les méthodes utilisées pour déterminer la zone de coordination des stations terriennes d'émission vis-à-vis de stations de Terre, (voir les § 3.2.1 et 3.2.3 de l'Annexe 1).

2 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

Pour une station terrienne d'émission fonctionnant dans une bande de fréquences qui est également attribuée dans les deux sens de transmission à des stations terriennes de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires, il faut élaborer plus avant les méthodes décrites dans l'Appendice 3 à l'Annexe 1. Il faut déterminer le gain d'antenne de la station terrienne de réception inconnue en direction de l'horizon, le gain en direction de l'horizon à utiliser à chaque azimut au niveau de la station terrienne (d'émission) effectuant la coordination pour déterminer la zone de coordination dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

2.1 Calcul du gain en direction de l'horizon pour des stations terriennes de réception inconnues fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires

La valeur de G_r , gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon, pour chaque azimut, α , au niveau de la station terrienne d'émission, est calculée comme suit:

Etape 1: La station terrienne de réception peut fonctionner avec tout satellite géostationnaire au-dessus d'un angle d'élévation minimal, ϵ_{min} , (voir Tableau 16). La différence de longitude (δ_b (degrés)) entre la station terrienne de réception et la station spatiale qui lui est associée est maximale à cet angle d'élévation minimal, ϵ_{min} , et est donnée par:

$$\delta_b = \arccos \left(\frac{\sin \left(\epsilon_{min} + \arcsin \left(\frac{\cos(\epsilon_{min})}{K} \right) \right)}{\cos(\zeta)} \right) \quad (122)$$

où:

ζ : latitude de la station terrienne de réception supposée être la même que celle de la station terrienne d'émission

K : rapport du rayon de l'orbite du satellite au rayon de la Terre, égal à 6,62.

Etape 2: Pour chaque azimut, α , à partir de la station terrienne d'émission:

- déterminer l'azimut, α_r , depuis la station terrienne de réception jusqu'à la station terrienne d'émission:

$$\alpha_r = \alpha + 180^\circ \quad \text{pour } \alpha < 180^\circ$$

$$\alpha_r = \alpha - 180^\circ \quad \text{pour } \alpha \geq 180^\circ$$

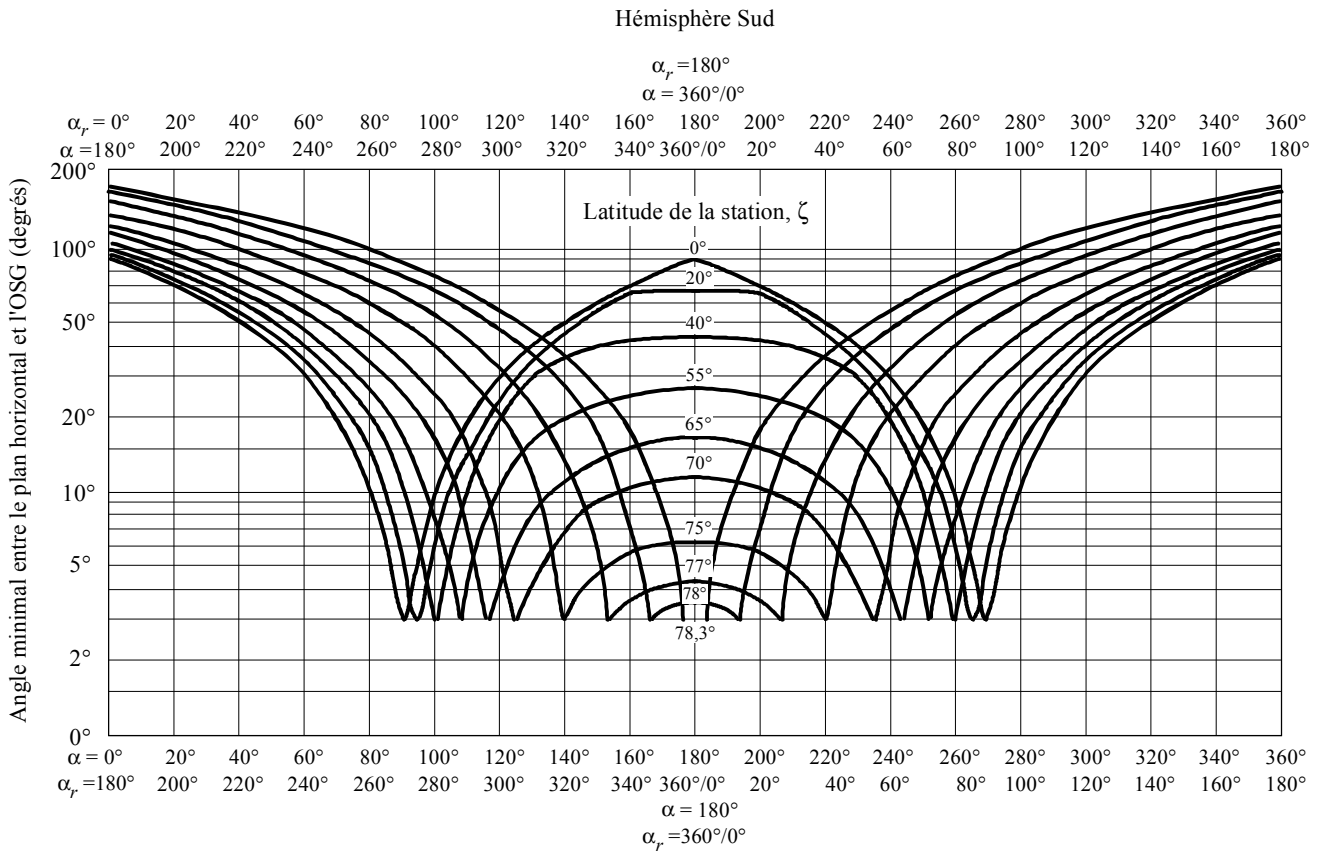
- pour chaque azimut α_r , déterminer l'espacement angulaire minimal $\varphi(\alpha_r)$ entre l'axe du faisceau principal de la station terrienne de réception et l'horizon à cet azimut en utilisant le Cas 2 du § 2 de l'Appendice 3 de l'Annexe 1. Pour cette évaluation, $\varphi(\alpha_r)$ prendre les valeurs de δ comprises entre $-\delta_b$ et $+\delta_b$ par incréments de 1° ou moins, en faisant bien attention d'inclure les valeurs extrêmes.

L'espacement angulaire minimal $\varphi(\alpha_r)$ peut être utilisé avec le diagramme de gain du § 3 de l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour déterminer le gain en direction de l'horizon pour cet azimut, α , à moins qu'un autre diagramme de gain ne figure dans le Tableau 16.

La Fig. 15 illustre le tracé de l'espacement angulaire minimal entre l'horizon pour un angle d'élévation de 0° à l'azimut α_r et un satellite géostationnaire ayant un angle d'élévation de plus de 3° . Les courbes correspondent à un ensemble de valeurs de la latitude de la station, ζ , qui est supposé être le même pour la station terrienne d'émission et la station terrienne de réception. Cette même Fig. 15 donne également une échelle indiquant l'azimut correspondant, α , de la station terrienne d'émission.

FIGURE 15

Illustration de la distance angulaire minimale entre des points situés sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et le plan horizontal



Hémisphère Nord
(Angle d'élévation minimum, $\epsilon_{min} = 3^\circ$)

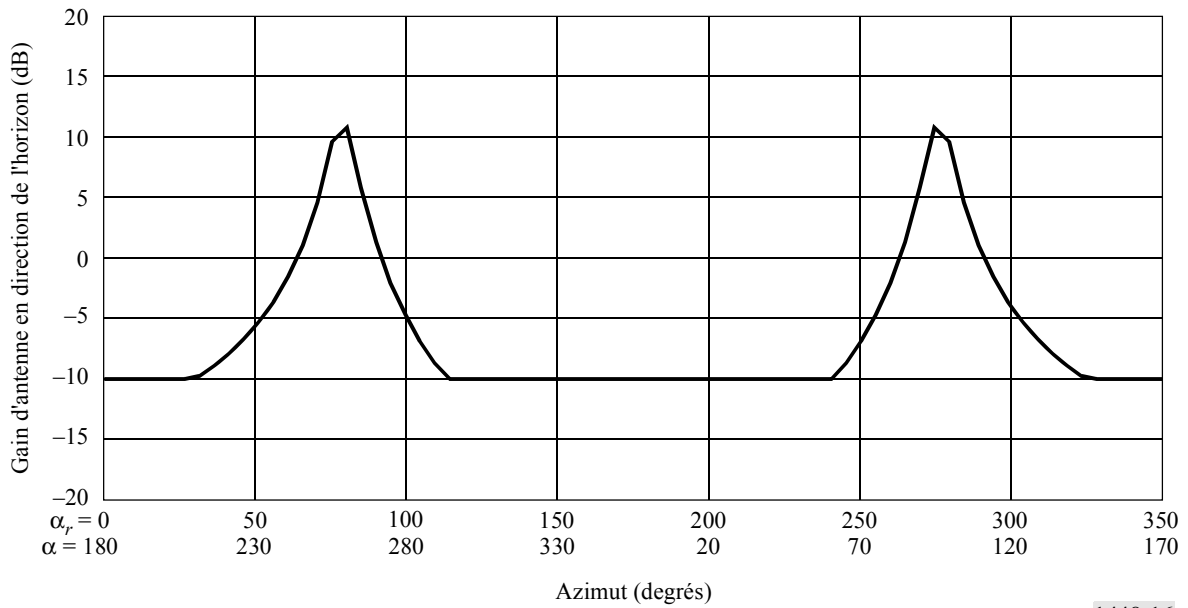
1448-15

2.2 Exemple de calcul du contour de coordination pour des stations terriennes fonctionnant toutes les deux avec des stations spatiales géostationnaires

On a utilisé l'espacement angulaire minimal entre l'axe du faisceau principal de la station terrienne de réception et l'horizon à chaque azimut, pour une station à 40° de latitude, ainsi que le diagramme de référence de l'antenne de la station terrienne de l'Appendice 3 de l'Annexe 1, pour tracer la courbe du gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon en fonction de (α) et (α_r) (voir la Fig. 16).

FIGURE 16

Exemple de gain d'antenne en direction de l'horizon plein arc pour un angle d'élévation de l'horizon de 0° et un angle d'élévation minimal de l'antenne de 5° à une latitude de 40° Nord

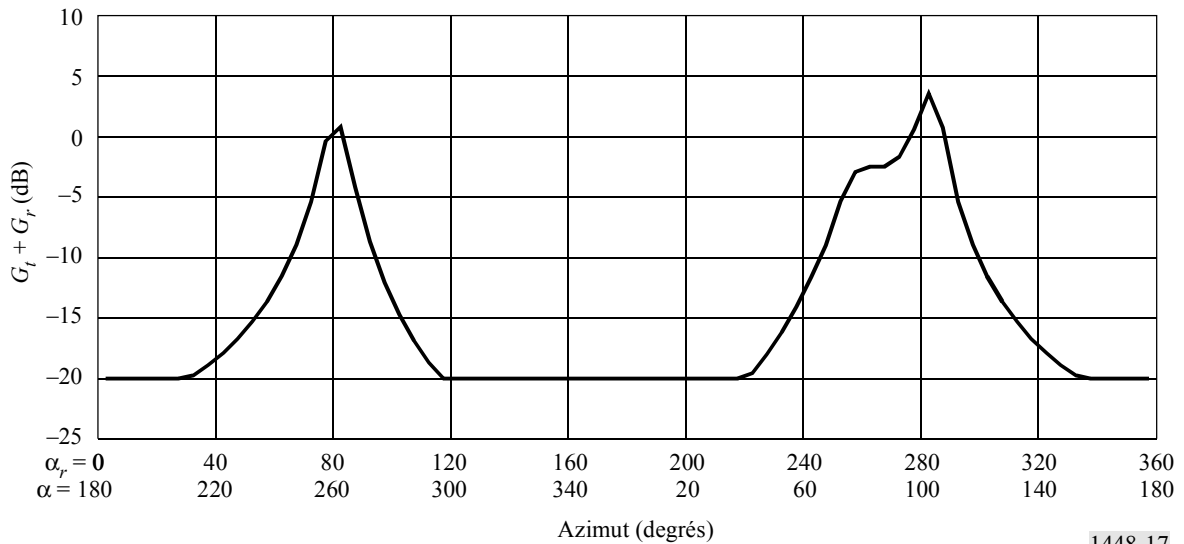


1448-16

La Fig.17 illustre la somme des gains d'antenne $G_t(\alpha) + G_r(\alpha_r)$ à chaque azimut de la station terrienne d'émission pour cet exemple.

FIGURE 17

Gain d'antenne composite en direction de l'horizon $G_t + G_r$ pour l'exemple de la Fig. 16

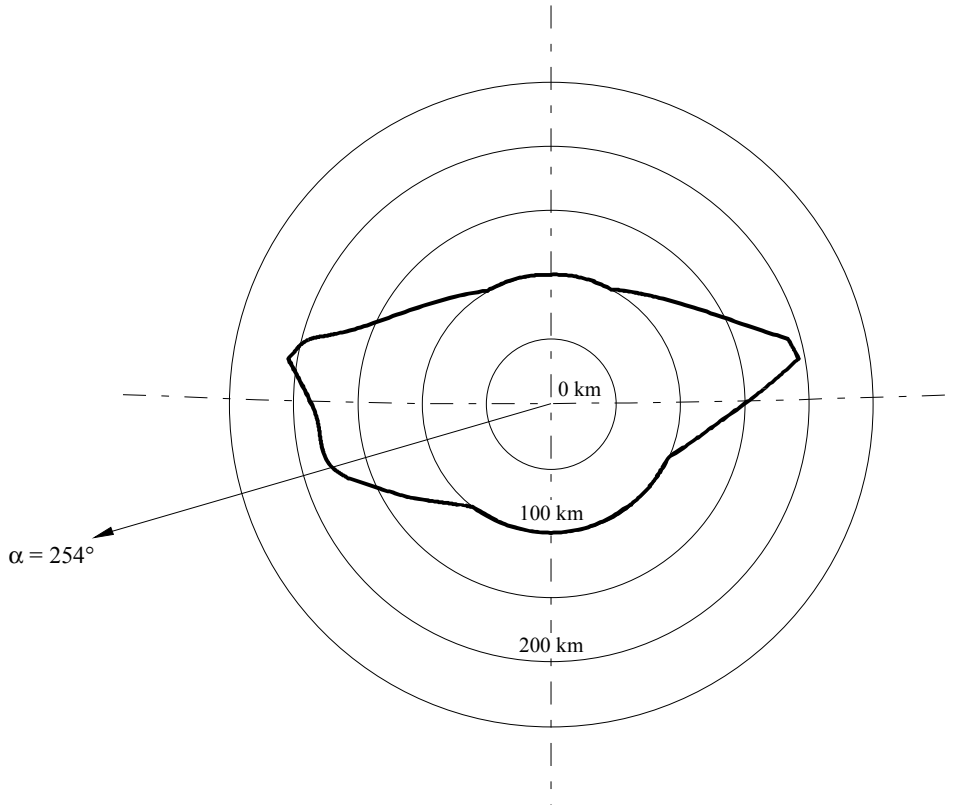


1448-17

La Fig. 18 donne un exemple de la zone de coordination en mode de propagation (1) établie à partir de la courbe du gain en direction de l'horizon dans la Fig. 17, avec les paramètres systèmes indiqués.

FIGURE 18

Exemple de zone de coordination en mode de propagation (1) dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission



Hypothèses pour la station terrienne d'émission:

$$f = 17,9 \text{ GHz}$$

$$P_t = 40 \text{ dBW}$$

$$\zeta = 40^\circ \text{ N}$$

$$\text{Angle d'élévation par rapport au satellite} = 10^\circ$$

$$\text{Azimut par rapport au satellite} = 254^\circ$$

$$\text{Zone hydrométéorologique} = \text{A2}$$

$$\text{Angle d'élévation par rapport à l'horizon} = 0^\circ$$

$$\text{Angle d'élévation minimal de la station terrienne de réception} = 5^\circ$$

Critères:

$$P_r(p) = -138 \text{ dBW}$$

Voir le tableau 16b

$$p_0 = 0,003\%$$

1448-18

2.3 Exemple de calcul du contour de coordination pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires vis-à-vis d'une station terrienne de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires, selon la méthode TVG

On donne dans le présent paragraphe un exemple de la détermination du contour de coordination en mode de propagation (1) pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires, vis-à-vis d'une station terrienne de réception, fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires dans la bande 6 875-7 055 MHz. Les paramètres de la station terrienne et de l'orbite des satellites sont donnés dans le Tableau 9.

TABLEAU 9

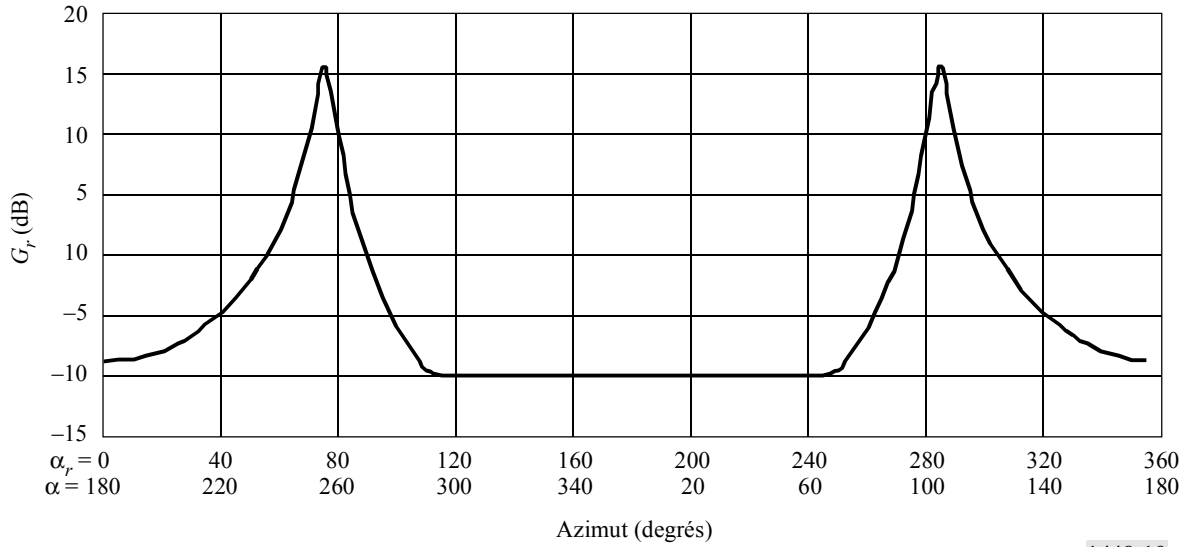
Paramètres des stations terriennes et des orbites de satellite utilisés dans l'exemple

<i>Paramètres orbitaux des satellites non géostationnaires</i>	
Altitude (km)	1 414
Nombre de satellites	48
Angle d'inclination (degrés)	52
<i>Paramètres de la station terrienne effectuant la coordination et fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires</i>	
Latitude (degrés)	50
Longitude (degrés)	0
Angle d'élévation de fonctionnement minimal (degrés)	10
Diagramme de gain d'antenne	Equation (99)
Gain d'antenne à l'émission (dBi)	50
p.i.r.e./porteuse (dBW)	56,5
Largeur de bande d'émission (kHz)	1 230
<i>Paramètres des stations terriennes de réception fonctionnant avec des stations spatiales géostationnaires (repris du Tableau 16a)</i>	
Modulation	Numérique (N)
Pourcentage de temps, $p\%$	0,005
N_L (dB)	1
M_s (dB)	2
W (dB)	0
Gain d'antenne à la réception (dB)	50,7
T_e (K)	75
Largeur de bande de référence (MHz)	1
$P_r(p)$ (dBW)	-151

On a utilisé l'espacement angulaire minimal entre l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne de réception et l'horizon à chaque azimut, pour une station située à 50° de latitude, ainsi que le diagramme d'antenne de référence de la station terrienne de l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour tracer la courbe du gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon en fonction de (α) et (α_r) (voir la Fig. 19).

FIGURE 19

Gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon pour une latitude de 50° Nord et un angle d'élévation minimal de 3°

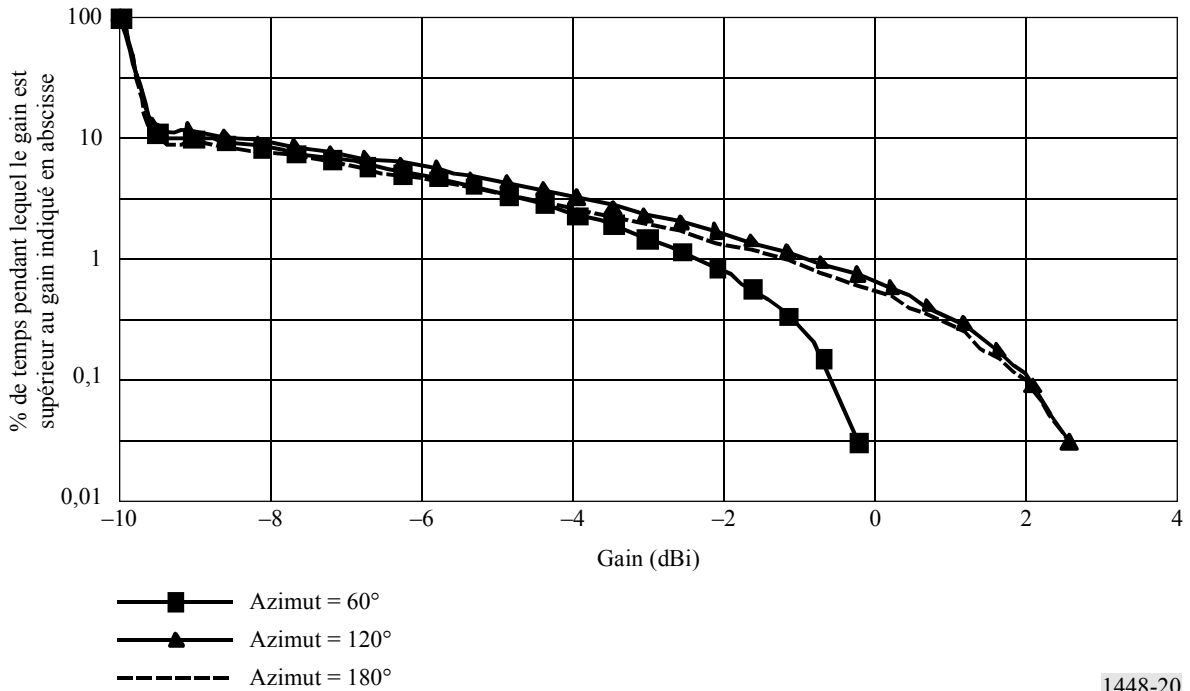


1448-19

La Fig. 20 illustre les CDF complémentaires du gain d'antenne de la station terrienne d'émission en direction de l'horizon, fonctionnant avec des satellites non géostationnaires, pour trois azimuts. Ces distributions, qui donnent le pourcentage de temps pendant lequel une valeur donnée du gain en direction de l'horizon est dépassée, ont été établies avec la méthode décrite au § 2 de l'Appendice 4 de l'Annexe 1.

FIGURE 20

CDF complémentaires du gain d'antenne de la station terrienne d'émission en direction de l'horizon, pour les azimuts de 60°, 120° et 180°



1448-20

Pour chaque azimut au niveau de la station terrienne d'émission, on utilise la valeur appropriée du gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon (Fig. 19) ainsi que la distribution correspondante du gain en direction de l'horizon de la station terrienne d'émission (Fig. 20) selon la méthode du § 1 de l'Appendice 5 de l'Annexe 1.

Le Tableau 10 donne un exemple de la détermination de la distance, pour les paramètres indiqués dans le Tableau 9 et un azimut de 60° , pour la station terrienne d'émission fonctionnant avec une station spatiale non géostationnaire vis-à-vis de la station terrienne géostationnaire de réception inconnue fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire. Les distances ont été calculées selon la méthode décrite ci-dessus, à la fréquence centrale de la bande par incréments de 0,1 dB sur la gamme des valeurs du gain d'antenne en direction de l'horizon. La plus grande valeur de la distance indiquée dans la colonne d_n (km) du Tableau 10 est choisie comme distance nécessaire en mode de propagation (1) à l'azimut considéré.

TABLEAU 10

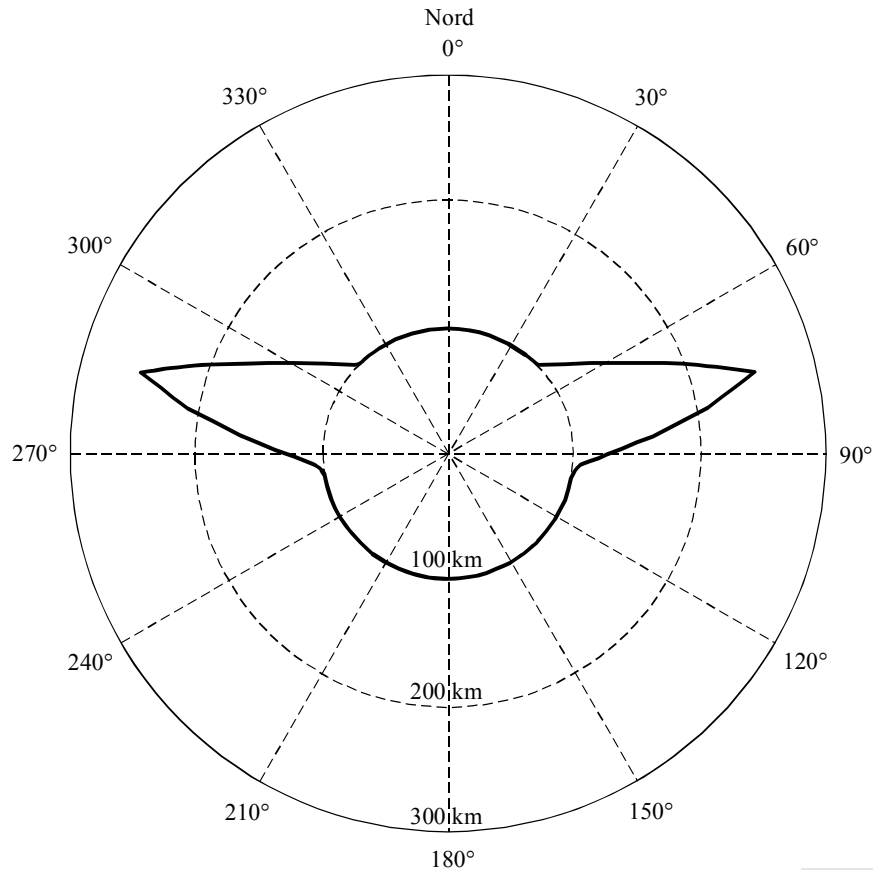
Distances, d_n , pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires vis-à-vis d'une station terrienne de réception fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire (azimut = 60°)

Indice du niveau de gain n	Gain d'antenne en direction de l'horizon G_{en} (dBi)	CDF complémentaire p_n (%)	$p_v = p/p_n$ (%)	Affaiblissement nécessaire (dB) $L_{bn}(p_v)$	Distance calculée d_n (km)
1	-10,0	100,00	0,005	149,66	146,74
2	-9,5	11,15	0,045	150,16	119,74
3	-9,0	10,17	0,049	150,66	121,84
4	-8,5	9,24	0,054	151,16	123,84
5	-8,0	8,35	0,060	151,66	125,54
6	-7,5	7,51	0,067	152,16	127,14
7	-7,0	6,71	0,075	152,66	128,44
8	-6,5	5,96	0,084	153,16	129,54
9	-6,0	5,25	0,095	153,66	130,34
10	-5,5	4,58	0,109	154,16	130,84
11	-5,0	3,96	0,126	154,66	130,84
12	-4,5	3,39	0,147	155,16	130,54
13	-4,0	2,86	0,175	155,66	129,54
14	-3,5	2,36	0,212	156,16	127,84
15	-3,0	1,92	0,260	156,66	125,34
16	-2,5	1,52	0,329	157,16	121,64
17	-2,0	1,15	0,435	157,66	116,04
18	-1,5	0,84	0,595	158,16	108,74
19	-1,0	0,56	0,893	158,66	100,94
20	-0,5	0,33	1,515	159,16	100,94
21	0,0	0,15	3,333	159,66	100,94
22	0,5	0,03	16,667	160,16	100,94
23	0,6	0,01	20,000	160,26	100,94

La Fig. 21 illustre un tracé du contour de coordination établi à partir des distances de coordination pour tous les azimuts.

FIGURE 21

Contour de coordination en mode de propagation (1) pour une station terrienne d'émission fonctionnant avec des stations spatiales non géostationnaires vis-à-vis d'une station terrienne de réception fonctionnant avec une station spatiale géostationnaire



1448-21

3 Détermination du contour en cas de diffusion par la pluie pour le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

La méthode permettant de déterminer la zone de diffusion par la pluie, dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission (voir le § 3.1.2 de l'Annexe 1), est la suivante:

La distance horizontale d_s (km) entre la station terrienne de coordination et le point auquel l'axe du faisceau principal atteint la hauteur de pluie h_R est calculée comme suit:

$$d_s = 8\,500 \left(\sqrt{\text{tg}^2 \varepsilon_s + h_R / 4\,250} - \text{tg} \varepsilon_s \right) \quad \text{km} \quad (123)$$

où la hauteur de pluie, h_R , peut être déterminée à partir des équations (75) ou (76) de l'Appendice 2 de l'Annexe 1.

La distance de calcul maximale, d_{max} , à utiliser pour déterminer le contour en mode de propagation (2), dans le cas d'une station terrienne effectuant la coordination qui fonctionne dans des bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission, dépend de la hauteur de pluie. Elle est la plus grande distance déterminée à partir de:

$$d_{max} = 130,4 \sqrt{h_R} \quad \text{km} \quad \text{ou } d_{min}$$

où la distance de coordination minimale, d_{min} , est donnée au § 4.2 de l'Annexe 1.

Le point, à la distance d_s de la station terrienne, à l'azimut α_s de l'axe du faisceau principal de la station terrienne effectuant la coordination, est le point géographique situé immédiatement au-dessous du point d'intersection de l'axe du faisceau principal et de la hauteur de pluie; c'est le point de référence à partir duquel on détermine la distance de calcul maximale d_{max} (voir la Fig. 22).

Si la distance de calcul maximale, d_{max} , est supérieure à la distance de coordination minimale, d_{min} , on calcule alors la latitude maximale à laquelle une station terrienne de réception peut fonctionner avec un satellite géostationnaire à un angle d'élévation minimal ε_s :

$$\zeta_{max} = \arccos \left[\frac{\cos(\varepsilon_s)}{K} \right] - \varepsilon_s \quad (124)$$

où:

ε_s : donné dans le Tableau 16

K : rapport du rayon de l'orbite du satellite au rayon de la Terre, égal à 6,62.

Si la latitude de la station terrienne effectuant la coordination dans l'hémisphère Nord est supérieure à ζ_{max} , ou si la latitude de la station terrienne effectuant la coordination dans l'hémisphère Sud est inférieure à $-\zeta_{max}$ ou -71° , le contour de diffusion par la pluie est alors un cercle de rayon d_{min} centré sur la station terrienne d'émission.

Pour tous les autres cas, la zone de coordination est déterminée comme suit:

Etape 1: On suppose que la station terrienne de réception inconnue fonctionne avec un satellite à l'angle d'élévation minimal ε_s . On suppose également que la station terrienne de réception est relativement proche de la station terrienne effectuant la coordination en termes géométriques; en d'autres termes qu'on peut appliquer dans la zone de coordination une géométrie plane. Si l'axe du faisceau principal de la station terrienne de réception coupe le point d'intersection entre l'axe du faisceau principal de la station terrienne effectuant la coordination et la hauteur de pluie, les azimuts depuis le point au sol situé immédiatement au-dessous de ce point d'intersection et jusqu'aux emplacements possibles d'une station terrienne de réception sont donnés par:

$$\alpha_{w1} = \arccos \left[\frac{\text{tg } \zeta}{\text{tg } \zeta_{max}} \right]$$

et

$$\alpha_{w2} = 360^\circ - \alpha_{w1}$$

où ζ est la latitude de la station terrienne d'émission.

Etape 2: Marquer sur une carte à l'échelle appropriée l'emplacement de la station terrienne effectuant la coordination et tracer depuis cet emplacement une ligne de distance, d_s , le long de l'azimut, α_s , jusqu'au point situé au-dessous du point d'intersection entre l'axe du faisceau principal de la station terrienne effectuant la coordination et la hauteur de pluie.

Etape 3: A partir du point d'intersection de l'axe du faisceau principal de l'Etape 2, marquer sur la carte la distance d_{max} le long des 2 azimuts α_{w2} et α_{w1} , et pour chaque azimut, à la distance d_{max} , tracer deux arcs de distance égale de 3° d'ouverture l'un dans le sens trigonométrique et l'autre dans le sens inverse. Les deux arcs, chacun d'une ouverture totale de 6° , sont les premiers éléments permettant de délimiter la zone de diffusion par la pluie dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

Etape 4: Tracer un cercle de rayon égal à la distance de coordination minimale, d_{min} , autour de l'emplacement de la station terrienne effectuant la coordination puis tracer des droites depuis les parties nord des deux segments d'arc tangents au bord nord du cercle et depuis les parties sud des deux segments d'arc tangents au bord sud du cercle.

La zone délimitée par les deux arcs de 6° d'ouverture, les quatre droites et les sections circulaires (il en existe toujours au moins une) entre les deux points tangents nord et les deux points tangents sud et les droites constituent la zone de diffusion par la pluie dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission.

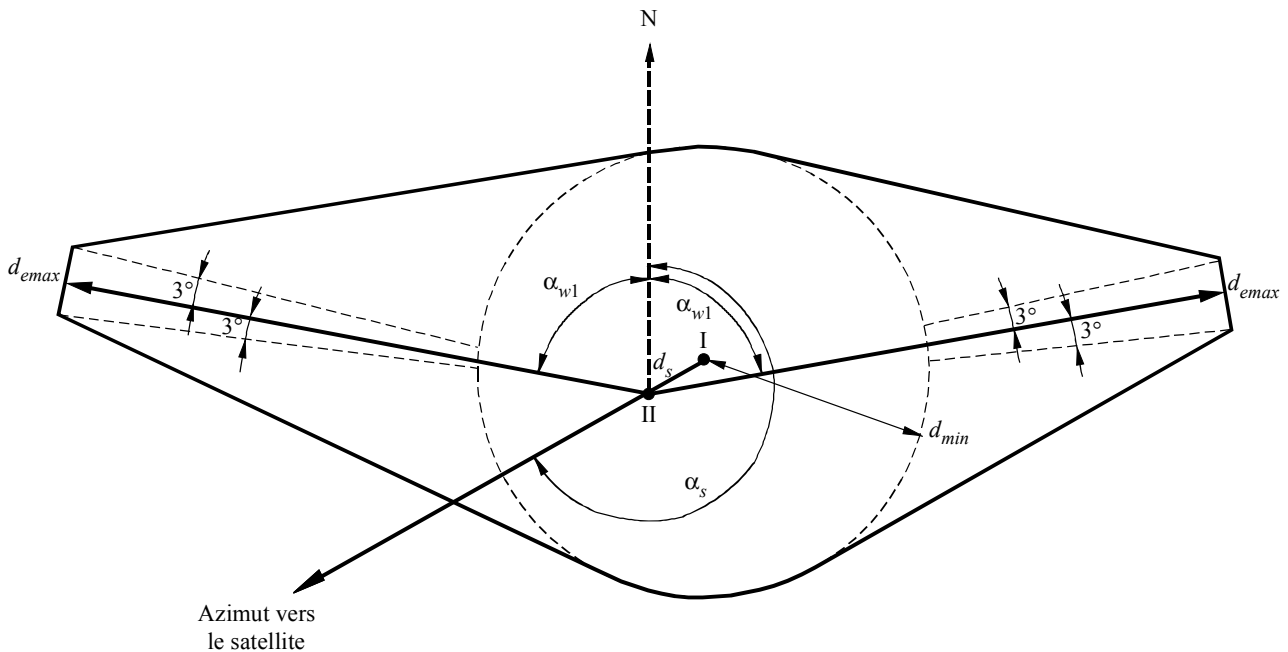
La Fig. 22 illustre comment on détermine la zone de diffusion par la pluie dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission pour la station terrienne décrite dans la Fig. 18. (La zone de diffusion par la pluie correspondante contient les lieux possibles des emplacements de toutes les stations terriennes de réception à

partir desquelles le trajet d'un faisceau en direction de l'orbite des satellites géostationnaires coupera le faisceau principal de l'antenne de la station terrienne d'émission.)

FIGURE 22

Exemple de zone de diffusion par la pluie dans le cas de bandes de fréquences attribuées dans les deux sens de transmission

(Pas à l'échelle)



I: emplacement de la station terrienne d'émission

II: point où l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne atteint l'altitude h_R

Hypothèses:

$$\zeta = 40^\circ \text{ N}$$

$$\varepsilon_s = 10^\circ$$

$$\alpha_s = 254^\circ$$

1448-22

APPENDICE 7

À L'ANNEXE 1

Détermination des contours auxiliaires pour le mode de propagation (2)

1 Détermination des contours auxiliaires pour le mode de propagation (2)

Les contours auxiliaires pour le mode de propagation (2) permettent de tenir compte du décalage en azimut du faisceau d'antenne d'une station de Terre par rapport à l'emplacement de la station terrienne effectuant la coordination. La Fig. 23 représente une projection sur le plan horizontal de la région de diffusion par les hydrométéores. La station terrienne et la station de Terre sont situées respectivement aux points A et B, la station de Terre étant sur un rayon défini par l'angle ω

2 Algorithme progressif

On trace les contours auxiliaires en mode de propagation (2) en calculant les distances le long de rayons partant du centre du contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2), à savoir le point C, en se plaçant à une distance de $b/2$ depuis la station terrienne le long de l'azimut de l'axe de son faisceau principal. La distance $b/2$ est égale à Δd , Δd étant donné par l'équation (84) (voir l'Appendice 2 de l'Annexe 1).

Pour la valeur choisie de l'angle d'évitement du faisceau φ , tracer comme suit le contour auxiliaire pour des valeurs de l'angle ω comprises entre 0° et 180° , par pas de 1° :

- a) Fixer r_b à la distance, d_r , du contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2), calculée comme indiqué au § 3.1 de l'Appendice 2 de l'Annexe 1.
- b) Calculer ψ à partir de:

$$\psi_1 = \arctg \left(\frac{b \sin \omega}{2r_b - b \cos \omega} \right) \quad (125)$$

$$\psi_2 = \arctg \left(\frac{b \sin \omega}{2r_b + b \cos \omega} \right) \quad (126)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (127)$$

- c) Si $\psi > \varphi$, le contour auxiliaire en mode de propagation (2) coïncide avec le contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2) pour la valeur considérée de ω ; le calcul de cette valeur ω est terminé et on passe à l'Etape j). Sinon on passe aux Etapes d) à i) jusqu'à ce que l'une des conditions décrites aux Etapes f) et i) soit satisfaite.
- d) Réduire r_b de 0,2 km.
- e) Recalculer l'angle critique ψ en utilisant les équations (125), (126) et (127).
- f) Si $(0,5 b \sin \omega / \sin \psi_2)$ est inférieur à d_{min} , le contour auxiliaire en mode de propagation (2) coïncide avec la distance de coordination minimale d_{min} ; le calcul pour la valeur considérée de ω est alors terminé et on passe à l'Etape j). Sinon on passe à l'Etape g).
- g) Calculer l'angle de protection $\nu = \varphi - \psi$.
- h) Calculer $G(\nu)$ le gain d'antenne de la station de Terre à l'angle ν par rapport à l'axe du faisceau en utilisant le diagramme d'antenne de référence donné dans le présent Appendice.
- i) Dans l'équation (83) de l'Annexe 2 utiliser le gain calculé à l'Etape h) en lieu et place de G_x et la valeur considérée de r_b en lieu et place de r_i , puis calculer l'affaiblissement correspondant sur le trajet en mode de propagation (2), L_r . Si $L_r < L(p)$, accroître r_b de 0,2 km et prendre cette valeur comme la distance pour le rayon considéré. Sinon revenir à l'Etape d).
- j) Une fois calculée la valeur de r_b à partir de la valeur considérée de l'angle ω , calculer l'angle θ_d depuis l'emplacement de la station terrienne et, si nécessaire, la distance d jusqu'à ce point du contour en utilisant:

$$d = 0,5 b \sin \omega / \sin \psi_2 \quad (128)$$

$$\theta_d = \omega - \psi_2 \quad (129)$$

Un contour auxiliaire en mode de propagation (2) est symétrique par rapport à l'axe du faisceau principal de la station terrienne. On peut donc déterminer les valeurs de d et de θ_d correspondant aux valeurs de ω comprises entre 181° et 359° en notant que les résultats pour une valeur donnée de ω sont les mêmes que pour $(-\omega)$ ou $(360^\circ - \omega)$.

Le pas utilisé ci-dessus pour incrémenter r_b , à savoir 0,2 km, convient pour la plupart des situations. Il permet de maîtriser la granularité du résultat lorsque celui-ci est considéré comme un ensemble de valeurs de r_b . Pour de petits angles d'élévation du faisceau de la station terrienne, la granularité devient plus apparente dans les valeurs de d et de θ_d et on peut alors utiliser un pas plus petit.

3 Diagrammes de rayonnement de référence pour des antennes de systèmes hertziens en visibilité directe

Le diagramme de rayonnement de référence pour des antennes de systèmes hertziens en visibilité directe est utilisé pour l'antenne de la station de Terre inconnue dans les calculs du contour auxiliaire en mode de propagation (2) lorsqu'on ne dispose pas du diagramme d'antenne effectif.

- a) Dans les cas où le rapport entre le diamètre d'antenne et la longueur d'onde est supérieur à 100, on utilise les équations suivantes:

$$G(\varphi) = G_{amax} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{pour} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (130)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{pour} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \quad (131)$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{pour} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (132)$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{pour} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (133)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda} \quad (134)$$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{amax} - G_1} \quad (135)$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad (136)$$

- b) Dans les cas où le rapport entre le diamètre d'antenne et la longueur d'onde est inférieur ou égal à 100, on utilise les équations suivantes:

$$G(\varphi) = G_{amax} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{pour} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (137)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{pour} \quad \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \quad (138)$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{pour} \quad 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \quad (139)$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{pour} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (140)$$

- c) Dans les cas où seul le gain d'antenne maximal est connu, on peut évaluer D/λ à partir de l'équation suivante:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{amax} - 7,7 \quad (141)$$

où:

G_{amax} : gain d'antenne de l'axe du faisceau principal (dBi)

D : diamètre de l'antenne (m)

λ : longueur d'onde (m)

G_1 : gain du premier lobe latéral (dBi).

APPENDICE 8

À L'ANNEXE 1

Paramètres

Les paramètres d'entrée qui pourraient être nécessaires pour déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne sont énumérés dans le Tableau 11; le Tableau 12 contenant d'autres paramètres utilisés dans la détermination de la zone de coordination.

TABLEAU 11
Paramètres d'entrée

Paramètre	Unité	Définition	Référence	Statut
a	km	Demi-grand axe de l'orbite du satellite non géostationnaire	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
d_h	km	Distance de l'horizon depuis l'emplacement de la station terrienne (valeur par défaut = 0,5 km)	§ 1 de l'Appendice 1	Facultatif
D	m	Diamètre de l'antenne	§ 3 de l'Appendice 3	Facultatif ⁽²⁾
e		Excentricité de l'orbite du satellite non géostationnaire ($e = 0$ pour des orbites circulaires et $0 < e < 1$ pour des orbites elliptiques)	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
f	GHz	Fréquence, 100 MHz-105 GHz	§ 4.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée
g	dB	Incrément de gain utilisé dans la détermination de la distribution du gain d'antenne en direction de l'horizon	§ 2 de l'Appendice 4, § 1 de l'Appendice 5	Facultatif ⁽³⁾
G_{amax}	dBi	Gain d'antenne maximal de l'axe du faisceau principal	§ 3 de l'Appendice 3	Facultatif ⁽²⁾
$G(\varphi)$	dBi	Gain d'antenne à un angle φ (degrés) à partir de l'axe du faisceau principal	§ 3 de l'Appendice 3	Facultatif ⁽²⁾
i_s	degrés	Angle d'inclinaison opérationnel maximal de l'orbite du satellite géostationnaire, ou angle d'inclinaison nominal de l'orbite du satellite non géostationnaire ou limite de latitude du mouvement orbital	§ 2 de l'Appendice 3 § 1.1 de l'Appendice 4 § 3 de l'Appendice 4	Paramètre d'entrée ⁽⁴⁾ ou facultatif ⁽³⁾
K_I		Rayon de l'orbite/rayon de la Terre pour le satellite de la constellation à la plus basse altitude	§ 1.1 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽³⁾
ℓ_{t1}		Affaiblissement numérique dans la ligne de transmission (par exemple, guide d'onde) entre la borne de l'antenne et l'étage de sortie du récepteur	§ 2 de l'Annexe 2	Paramètre d'entrée ⁽⁵⁾
P_t	dBW	Puissance d'émission maximale disponible dans la largeur de référence aux bornes de l'antenne d'une station terrienne d'émission	§ 1.3, 2.1.1 et 2.2.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée ⁽⁶⁾
Q	dB	Valeur du contour auxiliaire	§ 4.4 de l'Annexe 1	Facultatif
t	S	Temps utilisé pour déterminer la/les position(s) du satellite	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
t_0	s	Temps initial	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
T_a	K	Part relative de l'antenne de réception effectuant la coordination dans la température de bruit	§ 2 de l'Annexe 2	Paramètre d'entrée ⁽⁵⁾
T_r	K	Température de bruit du récepteur rapportée aux bornes de l'antenne d'une station terrienne de réception effectuant la coordination	§ 2 de l'Annexe 2	Paramètre d'entrée ⁽⁵⁾
α	degrés	Angle d'azimut de la direction considérée	§ 1 de l'Appendice 1	Paramètre d'entrée
δ_e	degrés	Différence en longitude à l'extrémité orientale de la portion opérationnelle de l'arc orbital	§ 2 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée ⁽⁴⁾

TABLEAU 11 (fin)

Paramètre	Unité	Définition	Référence	Statut
δ_w	degrés	Différence en longitude à l'extrémité occidentale de la portion opérationnelle de l'arc orbital	§ 2 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée ⁽⁴⁾
ε_h	degrés	Angle d'élévation de l'horizon à l'azimut α considéré. $\varepsilon_h(\alpha)$ est le profil de l'horizon	§ 1 de l'Appendice 1, § 1 de l'Appendice 3 et § 3 de l'Appendice 4	Paramètre d'entrée
ε_{sys}	degrés	Angle d'élévation minimal du faisceau principal de l'antenne de station terrienne, applicable à tous les azimuts	§ 1 de l'Appendice 4	Paramètre d'entrée ⁽³⁾
ζ	degrés	Latitude de la station terrienne (positive au Nord, négative au Sud)	§ 4.1 de l'Annexe 1, § 2 de l'Appendice 3 et § 3 de l'Appendice 4	Paramètre d'entrée
η_0	rad	Anomalie moyenne initiale	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
λ_e	degrés	Longitude d'une station terrienne (positive à l'Est, négative à l'Ouest)	§ 1.5.1 de l'Annexe 1, § 3 de l'Appendice 4	Paramètre d'entrée
λ_s	degrés	Longitude du noeud ascendant de l'orbite du satellite non géostationnaire au temps t_0	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
ν_0	degrés	Anomalie vraie spécifiée au temps t_0	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
ξ_0	rad	Anomalie d'excentricité au temps t_0	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾
ν	degrés	Angle de protection utilisé pour déterminer le contour auxiliaire en cas de diffusion par la pluie	§ 1 et § 2 de l'Appendice 7	Facultatif
ω_{p0}	degrés	Argument du périégée de l'orbite du satellite non géostationnaire au temps t_0	§ 3 de l'Appendice 4	Facultatif ⁽¹⁾

- (1) Paramètre nécessaire pour appliquer les équations relatives à l'orbite des satellites non géostationnaires (§ 3 de l'Appendice 4 de l'Annexe 1).
- (2) Le gain en direction de l'horizon qui est nécessaire pour déterminer la zone de coordination peut être établi de diverses manières équivalentes à partir de paramètres d'entrée spécifiés différents. Voir les Appendices 3 et 4 de l'Annexe 1.
- (3) Pour les stations terriennes fonctionnant en direction de stations spatiales non géostationnaires.
- (4) Pour les stations terriennes fonctionnant en direction de stations spatiales géosynchrones
- (5) Paramètre d'entrée pour l'équation (143). Si une administration notificatrice a utilisé cette équation pour déterminer la température de bruit thermique, T_e , de la station terrienne de réception, on peut utiliser ce paramètre dans la détermination de la zone de coordination
- (6) Cette puissance peut être calculée à partir de la densité de puissance maximale fournie à l'entrée de l'antenne (dB(W/Hz)) et de la largeur de bande de référence B.

TABLEAU 12

Autres paramètres utilisés

Paramètre	Sans indice inférieur	Avec indice inférieur	Avec argument	Unité	Définition	Référence
A		√		dB	Affaiblissement	Appendices 1 et 2
B	√			km	Longueur de la région critique de diffusion par la pluie	§ 1 de l'Appendice 7
B	√			Hz	Largeur de bande de référence, c'est-à-dire largeur de bande dans laquelle fonctionne la station de réception brouillée et sur laquelle il est possible d'établir une moyenne de la puissance de l'émission brouilleuse	§ 2 de l'Annexe 2
C		√		dB	Facteur de correction	§ 4.4 de l'Annexe 1
D		√		km	Distance, en général à partir de la station terrienne	Dans tout le texte
G	√	√	√	dBi	Gain d'antenne pour un angle à partir de l'axe du faisceau principal ou en direction de l'horizon	Dans tout le texte
h_R		√		km	Hauteur de pluie au-dessus du sol	§ 3.1.2 de l'Annexe 1 et § 3 de l'Appendice 2
i	√			degrés	Latitude du point subsatellite	§ 2 de l'Appendice 3
K	√				Facteur d'échelle pour déterminer l'affaiblissement spécifique dû à la pluie	§ 3 de l'Appendice 2
K	√			J/K	Constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K	§ 2 de l'Annexe 2
K	√	√			Rayon de l'orbite/rayon de la Terre pour l'orbite des satellites géostationnaires	§ 2 de l'Appendice 3 § 1.1 de l'Appendice 4
L	√	√	√	dB	Affaiblissement minimal nécessaire pendant $p\%$ du temps ou composantes de cet affaiblissement	§ 1.3 de l'Annexe 1 et § 1 de l'Appendice 2
M_s				dB	Marge de fonctionnement de la liaison	§ 2 de l'Annexe 2
N	√				Nombre de sources de brouillage équivalentes de niveau et de probabilité égale supposées être non corrélées pour de petits pourcentages de temps	§ 2 de l'Annexe 2
N_0					Coindice de réfraction à la surface de la mer au centre du trajet pour des fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz	§ 4.1 de l'Annexe 1
N_L				dB	Contribution de bruit de la liaison	§ 2 de l'Annexe 2
P	√	√		%	Pourcentage de temps pendant lequel le brouillage admissible peut être dépassé	§ 1.3 de l'Annexe 1
$P_r(p)$				dBW	Puissance de brouillage admissible de l'émission brouilleuse dans la largeur de bande de référence, qui ne doit pas être dépassée pendant plus de $p\%$ du temps	§ 1.3 de l'Annexe et § 2 de l'Annexe 2
P_t				dBW	Puissance d'émission disponible maximale dans la largeur de bande de référence aux bornes de l'antenne d'une station terrienne d'émission	§ 1.3, § 2.1.1 et § 2.2.2 de l'Annexe 1
r		√		km	Paramètres de la distance radiale	Appendices 2, 4 et 7
R	√		√	mm/h	Taux de précipitation	§ 1 de l'Appendice 2

TABLEAU 12 (suite)

Paramètre	Sans indice inférieur	Avec indice inférieur	Avec argument	Unité	Définition	Référence
R_{cv}					Fonction de transfert effective par diffusion	§ 3 de l'Appendice 2
s	√			km	Incrément de distance utilisé dans le calcul par itération de la distance nécessaire	§ 1.3 de l'Annexe 1
T		√		K	Température de bruit thermique équivalente	§ 2 de l'Annexe 2
W	√			dB	Facteur d'équivalence de bruit thermique pour les émissions brouilleuses dans la largeur de bande de référence	§ 2 de l'Annexe 2
$X(f)$			√	dB	Correction nominale à une fréquence f	§ 4.4 de l'Annexe 1
$Z(f)$			√	dB/km	Correction constante à la fréquence f	§ 4.4 de l'Annexe 1
α	√				Exposant pour déterminer l'affaiblissement spécifique dû à la pluie	§ 3 de l'Appendice 2
α	√	√	√	degrés	Angle d'azimut mesuré à la station terrienne effectuant la coordination	Appendices 3, 4 et 6
β	√				Incidence fonction du trajet du phénomène de conduit	§ 3 de l'Appendice 1
β_e				%	Pourcentage de temps pendant lequel il existe des conditions de propagation anormales par temps clair	§ 4.1 de l'Annexe 1
γ		√	√	dB/km	Affaiblissement spécifique	Appendices 1 et 2
Γ_1					Paramètre lié à l'incidence fonction du trajet du phénomène de conduit	§ 3 de l'Appendice 1
Γ_2				dB	Affaiblissement supplémentaire dû à la diffusion en dehors du volume commun	§ 3 de l'Appendice 2
Δd				km	Distance horizontale jusqu'au centre du contour circulaire en mode de propagation (2) à partir de la station terrienne, le long de l'azimut de l'axe du faisceau principal de l'antenne de cette station	§ 5 de l'Annexe 1 § 4 de l'Appendice 2
δ	√	√		degrés	Différence en longitude mesurée à partir d'une station terrienne	Appendices 3 et 4
ε		√	√	degrés	Angle d'élévation mesuré à partir de l'emplacement de la station terrienne	Appendices 1, 2, 3 et 4 et Annexe 2
ζ	√	√		degrés	Paramètre égal ou se rapportant à la latitude de la station terrienne	§ 4.1 de l'Annexe 1, Appendices 3 et 4
η		√		rad ⁽¹⁾	Anomalie moyenne ou sa vitesse de rotation	§ 3 de l'Appendice 4
θ_d				degrés	Angle utilisé dans l'élaboration du contour auxiliaire en mode de propagation (2)	§ 2 de l'Appendice 7
λ	√			M	Longueur d'onde de la puissance brouilleuse	Appendices 3 et 7
λ		√		degrés ⁽¹⁾	Paramètre de longitude ou sa vitesse de variation	§ 3 de l'Appendice 4
μ	√			km ³ /s ²	Constante gravitationnelle de la Terre	§ 3 de l'Appendice 4
μ		√			Paramètre utilisé pour déterminer β	§ 3 de l'Appendice 1
ν	√	√		degrés	Paramètre pour l'anomalie vraie d'un satellite non géostationnaire sur son orbite	§ 3 de l'Appendice 4
ξ		√		rad	Anomalie d'excentricité d'un satellite non géostationnaire	§ 3 de l'Appendice 4

TABLEAU 12 (fin)

Paramètre	Sans indice inférieur	Avec indice inférieur	Avec argument	Unité	Définition	Référence
ρ	√			g/m ³	Densité de vapeur d'eau atmosphérique	§ 3 de l'Appendice 1
σ, τ	√				Paramètres utilisés pour déterminer μ_1 et μ_2	§ 3 de l'Appendice 1
φ	√	√	√	degrés	Angle mesuré à partir de l'axe du faisceau principal de l'antenne	Appendices 3, 4 et 7
ψ	√	√	√	degrés	Divers longueurs d'arc et angles	Appendices 3, 4 et 7
ω	√	√		degrés ⁽¹⁾	Divers angles ou leur vitesse de variation	§ 3 de l'Appendice 4 et Appendice 7
Ω_r				degrés/s	Vitesse de précession des noeuds de l'orbite du satellite non géostationnaire	§ 3 de l'Appendice 4

⁽¹⁾ Avec l'indice inférieur r , le paramètre dénote une vitesse de variation en unités/s.

ANNEXE 2

Paramètres systèmes pour déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne

1 Introduction

Les Tableaux 14 à 16 donnent les valeurs des paramètres de système à utiliser dans les méthodes définies dans l'Annexe 1 pour déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne lorsque la bande est utilisée en partage avec des services de radiocommunication de Terre ou avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé.

Le Tableau 14 donne uniquement les valeurs des paramètres de système nécessaires dans le cas d'une station terrienne d'émission partageant des bandes de fréquences avec des services de Terre; le Tableau 15, quant à lui, donne les valeurs des paramètres nécessaires dans le cas d'une station terrienne de réception partageant des bandes de fréquences avec des services de Terre; le Tableau 16 donne les valeurs des paramètres dans le cas d'une station terrienne d'émission partageant une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission avec d'autres stations terriennes fonctionnant dans le sens de transmission opposé.

Ces tableaux de paramètres de système incluent les attributions primaires faites aux services spatiaux et aux services de Terre conformément à l'Article 5 du RR, dans toutes les bandes comprises entre 100 MHz et 105 GHz. Dans certaines des colonnes, les informations sont incomplètes: dans certains cas, ceci est dû au fait qu'il n'est pas nécessaire de calculer les distances de coordination car les distances de coordination prédéterminées s'appliquent; dans d'autres cas, les attributions sont nouvelles et les systèmes ne seront peut-être pas mis en œuvre avant plusieurs années. Les paramètres de système sont donc constamment mis à jour par les Commissions d'études des radiocommunications.

Les paramètres propres à la station terrienne, pour laquelle on demande la coordination, sont fournis au BR dans le format indiqué dans l'Appendice 4 du RR dans le cadre des procédures de notification et de coordination.

Dans chaque tableau, la rangée intitulée «méthode à utiliser» renvoie l'utilisateur à la section appropriée de l'Annexe 1 qui décrit les méthodes à suivre pour déterminer la zone de coordination.

A noter que la station terrienne pour laquelle il faut déterminer la zone de coordination est identifiée par le nom du service donné dans la première ligne de chaque tableau.

Lorsqu'il faut élaborer un contour supplémentaire, par exemple pour des systèmes fixes numériques, on trouvera les paramètres de système nécessaires dans l'une des colonnes adjacentes des Tableaux 14, 15 et 16. Faute de paramètres de système appropriés, on peut à l'aide de l'équation (142) du § 2 calculer la valeur de la puissance de brouillage admissible ($P_r(p)$).

2 Calcul de la puissance de brouillage admissible d'une émission brouilleuse

Les Tableaux 14, 15 et 16 donnent les valeurs des paramètres nécessaires pour calculer la puissance de brouillage admissible de l'émission brouilleuse (dBW), dans la largeur de bande de référence, puissance qui ne doit pas être dépassée pendant plus de $p\%$ du temps au niveau des bornes de l'antenne de réception d'une station subissant des brouillages provenant d'une seule source, à l'aide de la formule générale suivante:

$$P_r(p) = 10 \log(k T_e B) + N_L + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - W \quad \text{dBW} \quad (142)$$

où:

k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T_e : température de bruit thermique du système de réception (K), mesurée aux bornes de l'antenne de réception (voir § 2.1 de la présente Annexe)

N_L : contribution de bruit de la liaison (voir § 2.2 de la présente Annexe)

B : largeur de bande de référence (Hz), c'est-à-dire la largeur de bande dans laquelle fonctionne la station de réception brouillée et sur laquelle il est possible d'établir une moyenne de la puissance de l'émission brouilleuse

p : pourcentage de temps pendant lequel le brouillage provenant d'une source unique peut dépasser la valeur de la puissance de brouillage admissible; étant donné que les sources de brouillage ne devraient pas se présenter simultanément: $p = p_0/n$

p_0 : pourcentage de temps pendant lequel le brouillage provenant de toutes les sources peut dépasser la valeur de seuil

n : nombre de sources de brouillage équivalentes, de niveau égal et de probabilité égale supposées être non corrélées pour de petits pourcentages de temps

M_s : marge de fonctionnement de la liaison (dB) (voir § 2.3 de la présente Annexe)

W : facteur d'équivalence de bruit thermique (dB) pour les émissions brouilleuses dans la largeur de bande de référence. Ce facteur est positif lorsque les émissions brouilleuses ne causent pas une dégradation plus importante que le bruit thermique (voir § 2.4 de la présente Annexe).

Dans certains cas, une administration peut être en droit de penser que sa station terrienne de réception peut, à juste titre, s'écarter des valeurs indiquées dans le Tableau 15. L'attention est attirée sur le fait que pour certains systèmes, les largeurs de bande B ou, par exemple, dans le cas de systèmes avec assignation à la demande, les pourcentages de temps p et p_0 risquent de devoir être modifiés par rapport aux valeurs données dans le Tableau 15.

2.1 Calcul de la température de bruit du système de réception

La température de bruit (K) du système de réception, rapportée aux bornes de sortie de l'antenne de réception, peut être déterminée comme suit (sauf expressément indiqué dans le Tableau 14):

$$T_e = T_a + (\ell_{t1} - 1) 290 + \ell_{t1} T_r \quad \text{K} \quad (143)$$

où:

T_a : température de bruit (K) produite par l'antenne de réception

ℓ_{t1} : valeur numérique de l'affaiblissement sur la ligne de transmission (par exemple, guide d'onde) 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, reportée aux bornes d'entrée du récepteur.

On utilise une valeur de $\ell_{t1} = 1,0$ pour les récepteurs hertziens et lorsqu'on ne connaît pas l'affaiblissement du guide d'onde d'une station terrienne de réception.

Pour déterminer les contours de coordination entre deux stations terriennes fonctionnant dans des sens de transmission opposés, il convient d'utiliser les températures de bruit du système de réception de la station terrienne suivantes si les valeurs ne sont pas indiquées dans le Tableau 16. Cette hypothèse est nécessaire car la station de Terre de réception est remplacée par la station terrienne de réception dans les calculs.

TABLEAU 13

Gamme de fréquences (GHz)	T_e (K)
$f < 10$	75
$10 < f < 17$	150
$f > 17$	300

2.2 Détermination du facteur N_L

Le facteur N_L correspond à la contribution de bruit de la liaison. Dans le cas d'un répéteur de satellite, il comprend le bruit sur la liaison montante, l'intermodulation, etc. En l'absence d'entrées dans le tableau, on suppose que:

$$N_L = 1 \text{ dB} \quad \text{pour les liaisons fixes par satellite}$$

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

2.3 Détermination du facteur M_s

Le facteur M_s est le facteur dont il faudrait augmenter le bruit de la liaison par atmosphère claire pour qu'il soit égal à la puissance de brouillage admissible.

2.4 Détermination du facteur W

Le facteur W (dB) est le niveau de la puissance du bruit thermique radiofréquence rapporté à la puissance reçue d'une émission brouilleuse qui, en lieu et place de la première valeur et pour la même largeur de bande (de référence), produirait le même brouillage (c'est-à-dire augmentation de la puissance de bruit dans le canal vocal ou vidéo ou du taux d'erreur sur les bits). En général, le facteur W dépend des caractéristiques du signal utile et du signal brouilleur.

Lorsque le signal utile est numérique, W est en principe égal ou inférieur à 0 dB, quelles que soient les caractéristiques du signal brouilleur.

3 Gain d'antenne d'une station terrienne de réception en direction de l'horizon vis-à-vis d'une station terrienne d'émission

Pour déterminer la zone de coordination d'une station terrienne d'émission vis-à-vis d'une station terrienne de réception dans une bande de fréquences attribuée dans les deux sens de transmission, il faut calculer le gain d'antenne de la station terrienne inconnue en direction de l'horizon. Lorsque les stations terriennes de réception inconnues fonctionnent avec des satellites géostationnaires, le Tableau 16 donne les paramètres des stations terriennes de réception à utiliser pour le calcul (voir le § 2.1 de l'Appendice 6 de l'Annexe 1).

Lorsque la station terrienne de réception inconnue fonctionne avec des satellites non géostationnaires, le gain d'antenne en direction de l'horizon à utiliser, pour tous les azimuts, est donné dans le Tableau 16. Les valeurs présentées sous forme de tableaux ont été déterminées à l'aide de la méthode décrite au § 2.2.1 de l'Annexe 1, laquelle utilise les valeurs maximale et minimale du gain d'antenne en direction de l'horizon. A cette fin, le gain d'antenne maximal en direction de l'horizon est le gain de l'antenne pour un angle hors axe égal à l'angle d'élévation d'exploitation minimal. Le gain minimal en direction de l'horizon est le gain observé pour de grands angles hors axe, en général de plus de 36° ou 48°.

Pour déterminer les entrées dans le Tableau 16, correspondant au gain en direction de l'horizon avec la méthode TIG, la différence entre le gain maximal et le gain minimal en direction de l'horizon a été limitée à 30 dB. Par conséquent, on a pris comme valeur du gain en direction de l'horizon avec la méthode TIG le gain maximal en direction de l'horizon ou 20 dB plus le gain minimal en direction de l'horizon, selon celle qui était la plus faible. Pour déterminer le gain en direction de l'horizon avec la méthode TIG, on a utilisé le diagramme d'antenne de référence du § 3 de l'Appendice 3 de l'Annexe 1, sauf dans les cas, indiqués dans les tableaux, où on a estimé qu'un diagramme différent convenait mieux.

TABLEAU 14a

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission

Désignation du service de radiocommunication spatiale, émission	Mobile par satellite		Mobile par satellite, exploitation spatiale		Exploration de la Terre par satellite, météorologie par satellite		Exploitation spatiale		Recherche spatiale, exploitation spatiale		Mobile par satellite		Exploitation spatiale		Mobile par satellite, radiorepérage par satellite		Mobile par satellite		Exploitation spatiale, recherche spatiale		Mobile par satellite		Recherche spatiale, exploitation spatiale, exploration de la Terre par satellite			
Bande de fréquences (MHz)	121,45-121,55		148,0-149,9		401-403		433,75-434,25		449,75-450,25		806-840		1 427-1 429		1 610-1 626,5		1 675-1 700		1 675-1 710		1 750-1 850		1 980-2 025		2 025-2 110 2 110-2 120 (Espace lointain)	
Désignation du service de Terre, réception	Mobile aéronautique		Fixe, mobile		Fixe, mobile, auxiliaires de la météorologie		Amateur, radio-localisation, fixe, mobile		Fixe, mobile, radiolocalisation		Fixe, mobile radiodiffusion, radionavigation aéronautique		Fixe, mobile		Aéronautique, radionavigation, radioastronomie		Auxiliaires de la météorologie		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile	
Méthode à utiliser	§ 1.4.7		§ 2.1, § 2.2		§ 2.1, § 2.2		§ 2.1, § 2.2		§ 2.1, § 2.2		§ 1.4.6		§ 2.1, § 2.2		§ 1.4.6		§ 1.4.6		§ 1.4.6		§ 2.1, § 2.2		§ 1.4.6		§ 2.1, § 2.2	
Modulation au niveau de la station de Terre ⁽¹⁾	A	N	A		A	N			A et N	A et N	A	N			A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)		1,0						0,01	0,01	0,01	0,01			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	n		1						2	2	2	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	p (%)		1,0						0,005	0,005	0,005	0,005			0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
	N_L (dB)		-						0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M_S (dB)		-						20	20	33	33			33	33	33	33	33	33	33	33	26 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾
W (dB)		-						0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Paramètres de la station terrienne	G_x (dBi) ⁽³⁾		8						16	16	33	33			35	35	35	35	35	35	35	35	49 ⁽²⁾	49 ⁽²⁾	49 ⁽²⁾	
	T_e (K)		-						750	750	750	750			750	750	750	750	750	750	750	750	500 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	
Largeur de bande de référence	B (Hz)		4×10^3						$12,5 \times 10^3$	$12,5 \times 10^3$	4×10^3	10^6			4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	
Puissance de brouillage admissible	$P_f(p)$ (dBW) en B		-153						-139	-139	-131	-107			-131	-107	-131	-107	-131	-107	-131	-107	-140	-140	-140	

⁽¹⁾ A: modulation analogique; N: modulation numérique.

⁽²⁾ On a utilisé les paramètres applicables à la station de Terre associée aux systèmes transhorizon. On peut aussi utiliser les paramètres des systèmes hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 1 675-1 710 MHz pour déterminer un contour supplémentaire.

⁽³⁾ Les pertes dans le système d'alimentation ne sont pas prises en compte.

TABLEAU 14b

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission

Désignation du service de radiocommunication spatiale, émission	Fixe par satellite, mobile par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite		Exploitation spatiale, recherche spatiale		Fixe par satellite, mobile par satellite, météorologie par satellite		Fixe par satellite		Fixe par satellite		Fixe par satellite ⁽³⁾	Fixe par satellite	Fixe par satellite ⁽³⁾		
				A	N	A	N	A	N	A	N	A	N					
Bande de fréquences (GHz)	2,655-2,690	5,091-5,150	5,725-5,850	5,725-7,075		7,100-7,235 ⁽⁵⁾		7,900-8,400		10,7-11,7		12,5-14,8		13,75-14,3		15,43-15,65	17,7-18,4	19,3-19,7
Désignation du service de Terre, réception	Fixe, mobile	Radio-navigation aéronautique	Radiolocalisation	Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Radiolocalisation, radionavigation	Radionavigation aéronautique	Fixe, mobile	Fixe, mobile	
Méthode à utiliser	§ 2.1		§ 2.1	§ 2.1		§ 2.1, § 2.2		§ 2.1		§ 2.1		§ 2.1, § 2.2				§ 2.1, § 2.2	§ 2.2	
Modulation au niveau de la station de Terre ⁽¹⁾	A			A	N	A	N	A	N	A	N	A	N			N	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	0,01			0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005			0,005	0,005
	n	2			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			2	2
	p (%)	0,005			0,005	0,0025	0,005	0,0025	0,005	0,0025	0,005	0,0025	0,005	0,0025			0,0025	0,0025
	N_L (dB)	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0
	M_S (dB)	26 ⁽²⁾			33	37	33	37	33	37	33	40	33	40			25	25
	W (dB)	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	
Paramètres de la station terrienne	G_x (dBi) ⁽⁴⁾	49 ⁽²⁾	6		46	46	46	46	46	46	50	50	52	52			48	48
	T_e (K)	500 ⁽²⁾			750	750	750	750	750	750	1 500	1 100	1 500	1 100			1 100	1 100
Largeur de bande de référence	B (Hz)	4×10^3	150×10^3		4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6			10^6	10^6
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B	-140	-160		-131	-103	-131	-103	-131	-103	-128	-98	-128	-98			-113	-113

(1) A: modulation analogique; N: modulation numérique.

(2) On a utilisé les paramètres applicables à la station de Terre associée à des systèmes transhorizon. On peut aussi utiliser les paramètres des systèmes hertziens en visibilité directe associés au service fixe dans la bande de fréquences 5 725-7 075 MHz pour déterminer un contour supplémentaire avec $G_x = 37$ dBi.

(3) Liaisons de connexion de systèmes à satellites non géostationnaires du service mobile par satellite.

(4) Les pertes dans le système d'alimentation ne sont pas prises en compte.

(5) Les bandes de fréquences considérées sont 7 100-7 155 MHz et 7 190-7 235 MHz pour le service d'exploitation spatiale et 7 145-7 235 MHz pour le service de recherche spatiale.

TABLEAU 14c

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission

Désignation du service de radiocommunication spatiale, émission	Fixe par satellite	Fixe par satellite ⁽²⁾	Fixe par satellite ⁽³⁾	Recherche spatiale	Exploration de la Terre par satellite, recherche spatiale	Fixe par satellite, mobile par satellite, radio-navigation satellite	Fixe par satellite ⁽²⁾	Fixe par satellite, mobile par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite	
Bande de fréquences (GHz)	24,75-25,25 27,0-29,5	28,6-29,1	29,1-29,5	34,2-34,7	40,0-40,5	42,5-51,4	47,2-50,2	71,0-75,5	92,0-94,0	94,1-95,0	
Désignation du service de Terre, réception	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radio-localisation	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radionavigation, radioastronomie	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radiolocalisation	Fixe, mobile, radiolocalisation	
Méthode à utiliser	§ 2.1	§ 2.2	§ 2.2		§ 2.1, § 2.2	§ 2.1, § 2.2	§ 2.2	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1, § 2.2	
Modulation au niveau de la station de Terre ⁽¹⁾	N	N	N		N	N	N	N	N	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	0,005	0,005	0,005		0,005	0,005	0,001	0,002	0,002	0,002
	n	1	2	1		1	1	1	2	2	2
	p (%)	0,005	0,0025	0,005		0,005	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001
	N_L (dB)	0	0	0		0	0	0	0	0	0
	M_S (dB)	25	25	25		25	25	25	25	25	25
	W (dB)	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Paramètres de la station terrienne	G_x (dBi) ⁽⁴⁾	50	50	50		42	42	46	45	45	45
	T_e (K)	2 000	2 000	2 000		2 600	2 600	2 000	2 000	2 000	2 000
Largeur de bande de référence	B (Hz)	10^6	10^6	10^6		10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B	-111	-111	-111		-110	-110	-111	-111	-111	-111

⁽¹⁾ A: modulation analogique; N: modulation numérique.

⁽²⁾ Systèmes non géostationnaires du SFS.

⁽³⁾ Liaisons de connexion des systèmes non géostationnaires du service mobile par satellite.

⁽⁴⁾ Les pertes dans le système d'alimentation ne sont pas prises en compte.

TABLEAU 15a

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne de réception

Désignation du service de radiocommunication spatiale, réception	Exploitation spatiale, recherche spatiale	Météorologie par satellite, mobile par satellite	Recherche spatiale	Recherche spatiale, exploitation spatiale	Exploitation spatiale	Mobile par satellite	Météorologie par satellite	Mobile par satellite	Exploitation spatiale, recherche spatiale	Exploitation spatiale	Météorologie par satellite, exploration de la Terre par satellite	Exploitation spatiale	Radio-diffusion par satellite	Mobile par satellite	Radio-diffusion par satellite (DAB)	Mobile par satellite, mobile terrestre par satellite, mobile maritime par satellite	
Bande de fréquences (MHz)	137-138	137-138	143,6-143,65	174-184	163-167 272-273 ⁽⁵⁾	335,4-399,9	400,15-401	400,15-401	400,15-401	401-402	460-470	549,75-550,25	620-790	856-890	1 452-1 492	1 492-1 530 1 555-1 559 2 160-2 200 ⁽¹⁾	
Désignation du service de Terre, émission	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radio-localisation	Fixe, mobile, radio-diffusion	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Auxiliaires de la météorologie	Auxiliaires de la météorologie	Auxiliaires de la météorologie	Auxiliaires de la météorologie, fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radiodiffusion	Fixe, mobile, radiodiffusion	Fixe, mobile, radiodiffusion	Fixe, mobile, radiodiffusion	Fixe, mobile	
Méthode à utiliser	§ 2.1	§ 2.1	§ 2.1	§ 2.1	§ 2.1	§ 1.4.6	§ 1.4.6	§ 1.4.6	–	§ 2.1	§ 2.1	§ 2.1	§ 1.4.5	§ 1.4.6	§ 1.4.5	§ 1.4.6	
Modulation au niveau de la station terrienne ⁽²⁾	N		N		N				N	N					N	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	0,1		0,1		1,0		0,012		0,1	0,1	0,012				10	
	n	2		2		1		1		2	2	1				1	
	p (%)	0,05		0,05		1,0		0,012		0,05	0,05	0,012				10	
	N_L (dB)	0		0		0		0		0	0					0	
	M_S (dB)	1		1		1		4,3		1	1					1	
	W (dB)	0		0		0		0		0	0					0	
Paramètres de la station terrienne	E (dBW) en B ⁽³⁾	A	–	–	–	15	–	–	–	–	–	5	–	–	–	38	37 ⁽⁴⁾
		N	–	–	–	15	–	–	–	–	–	5	–	–	–	38	37
	P_t (dBW) en B	A	–	–	–	–1	–	–	–	–	–	–11	–	–	–	3	0
		N	–	–	–	–1	–	–	–	–	–	–11	–	–	–	3	0
	G_x (dBi)	–	–	–	–	16	–	–	–	–	–	16	–	–	–	35	37
Largeur de bande de référence	B (Hz)	1	1	1	10^3		$177,5 \times 10^3$		1	1	85				25×10^3	4×10^3	
Puissance de brouillage admissible	$P_f(p)$ (dBW) en B	–199	–199	–199	–173		–148		–208	–208	–178					–176	

⁽¹⁾ Dans ces bandes, on a utilisé les paramètres applicables à la station de Terre associés aux systèmes hertziens en visibilité directe. Si une administration estime que dans les bandes 2 160-2 200 MHz et 24 835-25 200 MHz les systèmes transhorizon doivent être pris en considération, on peut utiliser les paramètres associés à la bande de fréquences 2 500-2 690 MHz pour déterminer la zone de coordination.

⁽²⁾ A: modulation analogique; N: modulation numérique.

⁽³⁾ E est définie comme étant la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station de Terre brouilleuse dans la largeur de bande de référence.

⁽⁴⁾ Cette valeur est réduite de 50 dBW par rapport à la valeur nominale pour les besoins de la détermination de la zone de coordination, étant entendu que la probabilité pour qu'il y ait des émissions de forte puissance tombe dans la largeur de bande relativement étroite de la station terrienne est faible.

⁽⁵⁾ Les paramètres du service fixe indiqués dans la colonne pour les bandes 163-167 MHz et 272-273 MHz ne sont valables que pour la bande 163-167 MHz.

TABLEAU 15b

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne de réception

Désignation du service de radiocommunication spatiale, réception	Exploitation spatiale, (OSG et non OSG)	Radio-navigation par satellite	Météorologie par satellite (non OSG)	Météorologie par satellite (OSG)	Recherche spatiale, à proximité de la Terre (non OSG et OSG)		Recherche spatiale, espace lointain (non OSG)	Exploitation spatiale (non OSG et OSG)	Exploration de la Terre par satellite (OSG)	Radiodiffusion par satellite	Mobile par satellite, radiorepérage par satellite	Fixe par satellite, radiodiffusion par satellite		Fixe par satellite		
					Non habité	Habité										
Bande de fréquences (GHz)	1,525-1,535	1,559-1,610	1,670-1,710	1,670-1,710	1,700-1,710 2,200-2,290		2,290-2,300	2,200-2,290	2,200-2,290	2,310-2,360	2,4835-2,500	2,500-2,690		3,400-4,200		
Désignation du service de Terre, émission	Fixe	Fixe	Fixe, Mobile, auxiliaires de la météorologie	Fixe, mobile, auxiliaires de la météorologie	Fixe, mobile		Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile, radiolocalisation	Fixe, mobile, radiolocalisation	Mobile, radiolocalisation		Fixe, mobile		
Méthode à utiliser	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1	§ 2.2 et ⁽¹⁾	§ 2.1 et ⁽¹⁾	§ 2.1, § 2.2		§ 2.2	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1	§ 1.4.5	§ 1.4.6	§ 1.4.5 et § 2.1		§ 2.1		
Modulation au niveau de la station terrienne ⁽²⁾	N		N	N	N		N	N	N		N	A	N	A	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	1,0		0,006	0,011	0,1	0,001	0,001	1,0	1,0		10	0,03	0,003	0,03	0,005
	n	1		3	2	2	1	1	2	2		1	3	3	3	3
	p (%)	1,0		0,002	0,0055	0,05	0,001	0,001	0,5	0,5		10	0,01	0,001	0,01	0,0017
	N_L (dB)	0		0	0	0		0	0			0	1	1	1	1
	M_S (dB)	1		2,8	0,9	1		0,5	1			1	7	2	7	2
	W (dB)	0		0	0	0		0	0			0	4	0	4	0
Paramètres de la station terrienne	E (dBW) en $B^{(3)}$	A	50		$92^{(4)}$	$92^{(4)}$	$-27^{(4), (5)}$	$-27^{(5)}$	72	$72^{(4)}$		37	$72^{(4)}$	$72^{(4)}$	55	55
		N	37		–	–	-27	-27	76	76		37	76	76	42	42
	P_t (dBW) en B	A	13		$40^{(4)}$	$40^{(4)}$	$-71^{(4), (5)}$	$-71^{(5)}$	28	$28^{(4)}$		0	$28^{(4)}$	$28^{(4)}$	13	13
		N	0		–	–	-71	-71	32	32		0	32	32	0	0
	G_x (dBi)		37		52	52	44	44	44	44		37	44	44	42	42
Largeur de bande de référence	B (Hz)	10^3		10^6	4×10^3	1	1	10^6	10^6		4×10^3	10^6	10^6	10^6	10^6	
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B	-184		-142	-177	-216	-222	-154	-154		-176					

Notes relatives au Tableau 15b:

(1) Dans la bande 1 670-1 700 MHz il faut prévoir un contour additionnel pour la coordination avec le service des auxiliaires de la météorologie:

Pour la distance de coordination, d (km), applicable aux stations terriennes fixes du service de météorologie par satellite vis-à-vis des stations du service des auxiliaires de la météorologie, on suppose que la radiosonde est à une altitude de 20 km; cette distance est déterminée en fonction de l'angle d'élévation de l'horizon physique θ (degrés) pour chaque azimut comme suit:

$$d = \begin{cases} 582 \left(\sqrt{1 + (0,254 \epsilon_h)^2} - 0,254 \epsilon_h \right) & \text{pour } \epsilon_h > 0 \\ 582 & \text{pour } \epsilon_h \leq 0 \end{cases}$$

Les distances de coordination minimale et maximale sont $(100 - f(\text{GHz})/2)$ km et 582 km et se présentent à des angles d'élévation de l'horizon physique de plus de 11° et de moins de 0° .

(2) A: modulation analogique; N: modulation numérique.

(3) E est définie comme étant la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station de Terre brouilleuse dans la largeur de bande de référence.

(4) Dans cette bande, on a utilisé les paramètres des stations de Terre associées aux systèmes transhorizon. Si une administration estime qu'il n'est pas nécessaire de prendre en considération les systèmes transhorizon, on peut utiliser les paramètres des systèmes hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 3,4-4,2 GHz pour déterminer la zone de coordination, étant entendu que $E = 50$ dBW pour les stations de Terre analogiques et que $G_x = 37$ dBi. Toutefois, pour le service de recherche spatiale uniquement, compte tenu de la note ⁽⁵⁾ lorsque les systèmes transhorizon ne sont pas pris en considération, $E = 20$ dBW et $P_t = -17$ dBW pour les stations de Terre analogiques et $E = -23$ dBW et $P_t = -60$ dBW pour les stations de Terre numériques et $G_x = 37$ dBi.

(5) Ces valeurs sont estimées pour une largeur de bande de 1 Hz et sont inférieures de 30 dB à la puissance totale supposée à l'émission.

TABLEAU 15c

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne de réception

Désignation du service de radiocommunication spatiale, réception	Fixe par satellite		Fixe par satellite, radiopérage par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite		Météorologie par satellite ^{(7), (8)}	Météorologie par satellite ⁽⁹⁾	Exploration de la Terre par satellite ⁽⁷⁾	Exploration de la Terre par satellite ⁽⁹⁾	Recherche spatiale ⁽¹⁰⁾		Fixe par satellite		Radiodiffusion par satellite		Fixe par satellite ⁽⁹⁾	Radio-diffusion par satellite	Fixe par satellite ⁽⁷⁾		
	Espace lointain																				
Bande de fréquences (GHz)	4,500-4,800		5,150-5,216	6,700-7,075	7,250-7,750		7,450-7,550	7,750-7,850	8,025-8,400	8,025-8,400	8,400-8,450	8,450-8,500	10,7-12,75		12,5-12,759 ⁽¹²⁾		15,4-15,7	17,7-17,8	17,7-18,8 19,3-19,7		
Désignation du service de Terre, émission	Fixe, mobile		Radionavigation aéronautique	Fixe, mobile	Fixe, mobile		Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile		Fixe, mobile		Fixe, mobile		Radio-navigation aéronautique	Fixe	Fixe, mobile		
Méthode à utiliser	§ 2.1		§ 2.1	§ 2.2	§ 2.1		§ 2.1, § 2.2	§ 2.2	§ 2.1	§ 2.2	§ 2.2		§ 2.1, § 2.2		§ 1.4.5			§ 1.4.5	§ 2.1		
Modulation au niveau de la station terrienne ⁽¹⁾	A	N		N	A	N	N	N	N	N	N	N	A	N	A	N	-		N		
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	0,03	0,005		0,005	0,03	0,005	0,002	0,001	0,083	0,011	0,001	0,1	0,03	0,003	0,03	0,003	0,003		0,003	
	n	3	3		3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2		2	
	p (%)	0,01	0,0017		0,0017	0,01	0,0017	0,001	0,0005	0,0415	0,0055	0,001	0,05	0,015	0,0015	0,03	0,003	0,0015		0,0015	
	N_L (dB)	1	1		1	1	1	-	-	1	0	0	0	1	1	1	1	1		1	
	M_s (dB)	7	2		2	7	2	-	-	2	4,7	0,5	1	7	4	7	4	4		6	
W (dB)	4	0		0	4	0	-	-	0	0	0	0	4	0	4	0	0		0		
Paramètres de la station terrienne	E (dBW) en $B(2)$	A	92 ⁽³⁾	92 ⁽³⁾		55	55	55	55	55	55	25 ⁽⁵⁾	25 ⁽⁵⁾	40	40	55	55			35	
		N	42 ⁽⁴⁾	42 ⁽⁴⁾		42	42	42	42	42	42	42	-18	-18	43	43	42	42		40	40
	P_t (dBW) en B	A	40 ⁽³⁾	40 ⁽³⁾		13	13	13	13	13	13	13	-17 ⁽⁵⁾	-17 ⁽⁵⁾	-5	-5	10	10			-10
		N	0	0		0	0	0	0	0	0	0	-60	-60	-2	-2	-3	-3			-7
G_x (dBi)		52 ^{(3), (4)}	52 ^{(3), (4)}		42	42	42	42	42	42	42	42	42	45	45	45	45			47	45
Largeur de bande de référence ⁽⁶⁾	B (Hz)	10^6	10^6		10^6	10^6	10^6	10^7	10^7	10^6	10^6	1	1	10^6	10^6	27×10^6	27×10^6			10^6	
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B				-151,2			-125	-125	-154 ⁽¹¹⁾	-142	-220	-216			-131	-131				

Notes relatives au Tableau 15c:

- (1) A: modulation analogique; N: modulation numérique.
- (2) E est définie comme étant la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station de Terre brouilleuse dans la largeur de bande de référence.
- (3) Dans cette bande, on a utilisé les paramètres des stations de Terre associées aux systèmes transhorizon. Si une administration estime qu'il ne faut pas prendre en considération les systèmes transhorizon, on peut utiliser les paramètres des systèmes hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 3,4-4,2 GHz pour déterminer la zone de coordination.
- (4) Les systèmes numériques sont supposés être des systèmes non transhorizon. Par conséquent, $G_x = 42,0$ dBi. Pour des systèmes transhorizon numériques, les paramètres des systèmes transhorizon analogiques dans cette bande peuvent être utilisés.
- (5) Ces valeurs sont estimées pour une largeur de bande de 1 Hz et sont de 30 dB inférieures à la puissance totale supposée pour l'émission.
- (6) Dans certains systèmes du service fixe par satellite, il peut être souhaitable de choisir une largeur de bande de référence B plus grande. Toutefois, un tel choix se traduira par des distances de coordination plus petites et toute décision ultérieure de réduire la largeur de bande de référence nécessitera peut-être une nouvelle coordination de la station terrestre.
- (7) Systèmes à satellites géostationnaires.
- (8) Les satellites de météorologie non géostationnaires notifiés conformément au numéro 5.461A du RR peuvent utiliser les mêmes paramètres de coordination.
- (9) Systèmes à satellites non géostationnaires.
- (10) Les stations terrestres du service de recherche spatiale dans la bande 8,4-8,5 GHz fonctionnent avec des satellites non géostationnaires.
- (11) Pour de grandes stations terrestres: $P_r(p) = (G - 180)$ dBW
 Pour de petites stations terrestres: $P_r(20\%) = 2(G - 26) - 140$ dBW pour $26 < G \leq 29$ dBi
 $P_r(20\%) = G - 163$ dBW pour $G > 29$ dBi
 $P_r(p)\% = G - 163$ dBW pour $G \leq 26$ dBi
- (12) S'applique au service de radiodiffusion par satellite dans les bandes non planifiées en Région 3.

TABLEAU 15d

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne de réception

Désignation du service de radiocommunication spatiale, réception	Météorologie par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite ⁽³⁾	Radio-diffusion par satellite	Exploration de la Terre par satellite ⁽⁴⁾	Exploration de la Terre par satellite ⁽⁵⁾	Recherche spatiale (espace lointain)	Recherche spatiale		Fixe par satellite ⁽⁶⁾	Fixe par satellite ⁽⁵⁾	Mobile par satellite	Radiodiffusion par satellite, fixe par satellite	Mobile par satellite	Radio-navigation	Radio-diffusion par satellite
								Non habité	Habité							
Bande de fréquences (GHz)	18,1-18,3	18,8-19,3	19,3-19,7	21,4-22,0	25,5-27,0	25,5-27,0	31,8-32,3	37,0-38,0		37,5-40,5	37,5-40,5	39,5-40,5	40,5-42,5	43,5-47,0	43,5-47,0	84-86
Désignation du service de Terre, émission	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, radio-navigation	Fixe, mobile		Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, mobile	Fixe, radiodiffusion	Mobile	Mobile	Fixe, mobile, radiodiffusion
Méthode à utiliser	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1, § 2.2	§ 2.2	§ 1.4.5	§ 2.2	§ 2.1	§ 2.1, § 2.2	§ 2.1, § 2.2		§ 2.2	§ 2.1	§ 1.4.6	§ 1.4.5, § 2.1	§ 1.4.6	–	§ 1.4.5
Modulation au niveau de la station terrienne ⁽¹⁾	N	N	N		N	N	N	N		N	N	N	–	N		
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)		0,003	0,01		0,25	0,25	0,001	0,1	0,001	0,02	0,003				
	n		2	1		2	2	1	1	1		2				
	p (%)		0,0015	0,01		0,125	0,125	0,001	0,1	0,001		0,0015				
	N_L (dB)		0	0		0	0	0	0		1	1				
	M_S (dB)		5	5		11,4	14	1	1		6,8	6				
W (dB)		0	0		0	0	0	0		0	0					
Paramètres de la station terrienne	E (dBW en $B^{(2)}$)	A	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–			
		N	40	40	40	40	42	42	–28	–28	35	35	35	44	40	40
	P_t (dBW en B)	A	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–			
		N	–7	–7	–7	–7	–3	–3	–81	–73	–10	–10	–10	–1	–7	–7
G_x (dBi)		47	47	47	47	45	45	53	45		45	45	45	47	47	
Largeur de bande de référence	B (Hz)		10^6	10^6		10^7	10^7	1	1		10^6	10^6	10^6			
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW en B)		–140	–137		–120	–116	–216	–217		–140					

Notes relatives au Tableau 15d:

- (1) A: modulation analogique; N: modulation numérique.
 (2) E est définie comme étant la puissance isotrope rayonnée équivalente de la station de Terre brouilleuse dans la largeur de bande de référence.
 (3) Liaisons de connexion des systèmes à satellites non géostationnaires du service mobile par satellite.
 (4) Systèmes à satellites non géostationnaires.
 (5) Systèmes à satellites géostationnaires.
 (6) Systèmes du service fixe par satellite non géostationnaires.

TABLEAU 16a

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission fonctionnant dans des bandes utilisées en partage dans les deux sens de transmission avec des stations terriennes de réception

Désignation du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne d'émission	Mobile terrestre par satellite	Mobile par satellite	Mobile terrestre par satellite	Exploration de la Terre par satellite, météorologie par satellite	Mobile par satellite		Mobile par satellite		Fixe par satellite, mobile par satellite	Fixe par satellite ⁽³⁾		Fixe par satellite	Fixe par satellite, météorologie par satellite	Fixe par satellite	
Bande de fréquences (GHz)	0,1499-0,15005	0,272-0,273	0,3999-0,40005	0,401-0,402	1,675-1,710		1,700-1,710		2,655-2,690	5,150-5,216		6,700-7,075	8,025-8,400	8,025-8,400	
Désignation du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne de réception	Radio-navigation par satellite	Exploitation spatiale	Radio-navigation par satellite	Exploitation spatiale	Météorologie par satellite		Recherche spatiale à proximité de la Terre		Fixe par satellite, radiodiffusion par satellite	Fixe par satellite	Radio-repérage par satellite	Fixe par satellite	Exploration de la Terre par satellite	Exploration de la Terre par satellite	
															Non habité ⁽¹⁰⁾
Orbite ⁽⁶⁾		Non OSG		Non OSG	Non OSG	OSG	Non OSG			Non OSG		Non OSG	Non OSG	OSG	
Modulation au niveau de la station terrienne de réception ⁽¹⁾		N		N	N	N	N	N				N	N	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne de réception	p_0 (%)		1,0		0,1	0,006	0,011	0,1	0,001				0,005	0,011	0,083
	n		1		2	3	2	2	1				3	2	2
	p (%)		1,0		0,05	0,002	0,0055	0,05	0,001				0,0017	0,0055	0,0415
	N_L (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1	0	1
	M_S (dB)	2	1	2	1	2,8	0,9	1	1	2	2	2	2	4,7	2
W (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	
Paramètres de la station terrienne de réception	G_m (dBi) ⁽²⁾	0	20	0	20	30	45				48,5		50,7		
	G_r (dBi) ⁽⁴⁾	0	19	0	19	19 ⁽⁹⁾	⁽⁸⁾	10	10		10		10	10	⁽⁸⁾
	ϵ_{min} ⁽⁵⁾	3°	10°	3°	10°	5°	3°	5°	5°	3°	3°	3°	3°	5°	3°
	T_e (K) ⁽⁷⁾	200	500	200	500	370	118			75	75	75	75		
Largeur de bande de référence	B (Hz)	4×10^3	10^3	4×10^3	1	10^6	4×10^3	1	1				10^6	10^6	10^6
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B	-172	-177	-172	-208	-145	-178	-216	-216				-151	-142	-154

Notes relatives au Tableau 16a:

- (1) A: modulation analogique; N: modulation numérique.
- (2) Gain dans l'axe de l'antenne de la station terrienne de réception.
- (3) Liaisons de connexion des systèmes à satellites non géostationnaires du service mobile par satellite.
- (4) Gain d'antenne en direction de l'horizon de la station terrienne de réception (voir le § 3 de l'Annexe 1).
- (5) Angle d'élévation minimal d'exploitation en degrés (systèmes non géostationnaires ou géostationnaires).
- (6) Orbite du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne de réception (systèmes non géostationnaires ou géostationnaires).
- (7) Température de bruit thermique du système de réception aux bornes de l'antenne de réception (par ciel clair). Se reporter au § 1.1 de l'Annexe 2 pour les valeurs manquantes.
- (8) Le gain d'antenne en direction de l'horizon est calculé selon la méthode décrite dans l'Appendice 6 de l'Annexe 1. Lorsqu'aucune valeur de G_m n'est précisée, il convient d'utiliser une valeur de 42 dBi.
- (9) Gain d'antenne en direction de l'horizon TIG $G_e = G_{min} + 20$ dB (voir le § 2.2.1), avec $G_{min} = 10 - 10 \log(D/\lambda)$, $D/\lambda = 13$ (se reporter à l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour la définition des symboles).
- (10) Le service de recherche spatiale (missions non habitées) n'est pas un service de radiocommunication distinct et les paramètres systèmes ne sont utilisés que pour tracer des contours supplémentaires.

TABLEAU 16b

Paramètres nécessaires pour déterminer la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission fonctionnant dans des bandes utilisées en partage dans les deux sens de transmission avec des stations terriennes de réception

Désignation du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne d'émission	Fixe par satellite			Fixe par satellite			Fixe par satellite ⁽³⁾	Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite ⁽³⁾	Fixe par satellite ⁽³⁾	Exploration de la Terre par satellite, recherche spatiale		
	10,7-11,7			12,5-12,75			15,43-15,65	17,3-17,8	17,7-18,4	19,3-19,6	19,3-19,6	40,0-40,5		
Désignation du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne de réception	Fixe par satellite			Fixe par satellite			Fixe par satellite ⁽³⁾	Radiodiffusion par satellite	Fixe par satellite, météorologie satellite	Fixe par satellite ⁽³⁾	Fixe par satellite ⁽⁴⁾	Fixe par satellite, mobile par satellite		
Orbite ⁽⁷⁾	OSG		Non OSG	OSG		Non OSG	Non OSG		OSG	Non OSG	OSG	OSG	Non OSG	
Modulation au niveau de la station terrienne de réception ⁽¹⁾	A	N	N	A	N				N	N				
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne de réception	p_0 (%)	0,03	0,003		0,03	0,003		0,003		0,003	0,01	0,003	0,003	
	n	2	2		2	2		2		2	1	2	2	
	p (%)	0,015	0,0015		0,015	0,0015		0,0015		0,0015	0,01	0,0015	0,0015	
	N_L (dB)	1	1		1	1		1		1	0	1	1	
	M_S (dB)	7	4		7	4		4		6	5	6	6	
	W (dB)	4	0		4	0		0		0	0	0	0	
Paramètres de la station terrienne de réception	G_m (dBi) ⁽²⁾		51,9			31,2		48,4		58,6	53,2	49,5	50,8	54,4
	G_r ⁽⁵⁾	⁽⁹⁾	⁽⁹⁾	10	⁽⁹⁾	⁽⁹⁾	11 ⁽¹¹⁾	10		⁽⁹⁾	10	⁽¹⁰⁾	⁽⁹⁾	7 ⁽¹²⁾
	ϵ_{min} ⁽⁶⁾	5°	5°	6°	5°	5°	10°	5°		5°	5°	10°	10°	10°
	T_e (K) ⁽⁸⁾	150	150		150	150		150		300	300	300	300	
Largeur de bande de référence	B (Hz)	10^6	10^6		10^6	10^6		2×10^6		10^6	10^6			
Puissance de brouillage admissible	$P_r(p)$ (dBW) en B	-144	-144	-144	-144	-144	-144	-141		-138	-141			

Notes relatives au Tableau 16b:

- (1) A: modulation analogique; N: modulation numérique.
 - (2) Gain dans l'axe de l'antenne de la station terrienne de réception.
 - (3) Liaisons de connexion des systèmes à satellites non géostationnaires du service mobile par satellite.
 - (4) Systèmes à satellites géostationnaires.
 - (5) Gain d'antenne de la station terrienne de réception en direction de l'horizon (voir le § 3 de l'Annexe 1).
 - (6) Angle d'élévation minimal d'exploitation en degrés (systèmes non géostationnaires ou géostationnaires).
 - (7) Orbite du service spatial dans lequel fonctionne la station terrienne de réception (systèmes non géostationnaires ou géostationnaires).
 - (8) Température de bruit thermique du système de réception aux bornes de l'antenne de réception (par ciel clair). Se reporter au § 1.1 de l'Annexe 2 pour les valeurs manquantes.
 - (9) Le gain d'antenne en direction de l'horizon est calculé selon la méthode décrite dans l'Appendice 6 de l'Annexe 1. Lorsqu'aucune valeur de G_m n'est précisée, il convient d'utiliser une valeur de 42 dBi.
 - (10) Le gain d'antenne en direction de l'horizon est calculé selon la méthode décrite dans l'Appendice 6 de l'Annexe 1 à l'exception du fait que le diagramme d'antenne suivant peut être utilisé en lieu et place de celui donné au § 3 de l'Appendice 3: $G = 32 - 25 \log \varphi$ pour $1^\circ \leq \varphi < 48^\circ$; et $G = -10$ pour $48^\circ \leq \varphi < 180^\circ$ (se reporter l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour les définitions des symboles).
 - (11) Gain d'antenne en direction de l'horizon TIG, dans le cas non géostationnaire, $G_e = G_{max}$ (voir le § 2.2.1) pour $G = 36 - 25 \log(\varphi) > -6$ (se reporter à l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour la définition des symboles).
 - (12) Gain d'antenne en direction de l'horizon TIG, dans le cas non géostationnaire, $G_e = G_{max}$ (voir le § 2.2.1) pour $G = 32 - 25 \log(\varphi) > -10$ (se reporter à l'Appendice 3 de l'Annexe 1 pour la définition des symboles).
-