

RECOMMANDATION UIT-R IS.847-1

DÉTERMINATION DE LA ZONE DE COORDINATION D'UNE STATION TERRIENNE OPÉRANT AVEC UNE STATION SPATIALE GÉOSTATIONNAIRE DANS UNE BANDE DE FRÉQUENCES PARTAGÉE AVEC UN SERVICE DE TERRE*

(Question UIT-R 6/12)

(1992-1993)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'utilisation en partage des mêmes bandes de fréquences par des stations terriennes et par des stations de Terre s'accompagne d'un risque de brouillage, soit que les émissions de la station terrienne brouillent la réception de la station de Terre, ou que les émissions de la station de Terre brouillent la réception de la station terrienne, ou les deux;
- b) qu'il serait souhaitable, pour éviter ce brouillage, que les fréquences d'émission et de réception utilisées par les stations terriennes soient coordonnées avec les fréquences utilisées par les services de Terre, qui pourraient soit subir le brouillage causé par les émissions des stations terriennes ou constituer une source de brouillage pour la réception par des stations terriennes;
- c) que cette coordination devra être entreprise dans la zone environnant la station terrienne s'étendant jusqu'à des distances au-delà desquelles on peut considérer le risque de brouillage mutuel comme négligeable;
- d) que cette zone pourra s'étendre à un territoire faisant partie de la juridiction d'une autre administration;
- e) qu'un tel brouillage mutuel dépendra de plusieurs facteurs, à savoir la puissance des émetteurs, le type de modulation, les gains d'antenne en direction des signaux brouilleurs, les niveaux de brouillage admissibles aux extrémités de réception, les mécanismes de propagation des ondes radioélectriques, les conditions radioclimatiques, la distance entre stations et la nature du terrain;
- f) que le risque de brouillage devra être examiné en détail dans chaque cas en prenant tous les facteurs en considération;
- g) qu'il est souhaitable, préalablement à cet examen détaillé, de définir une méthode permettant de déterminer, sur la base d'hypothèses générales, une zone de coordination aux alentours d'une station terrienne, telle que le risque de brouillage mutuel avec les stations de Terre situées en dehors de cette zone puisse être considéré comme négligeable, la coordination entre les administrations n'étant requise que lorsque la zone de coordination de la station terrienne recoupe un territoire faisant partie de la juridiction d'une autre administration;
- h) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications tenue à Genève en 1979 a adopté, pour la détermination de la zone de coordination, la méthode définie dans l'Appendice 28 du Règlement des radiocommunications (RR) et qu'elle a invité l'ex-CCIR à poursuivre ses études sur la question (voir la Recommandation N° 711 de la CAMR-79);
- j) que la Conférence a également adopté la Résolution N° 60 qui invite l'ex-CCIR à maintenir les textes pertinents résultant de ces études sous une forme permettant leur insertion directe dans l'Appendice 28 du RR à la place des § 3, 4, 6 existants ou de l'Annexe 3 si l'Assemblée plénière de l'ex-CCIR conclut qu'une telle insertion est justifiée;
- k) qu'il est nécessaire d'élaborer des Recommandations susceptibles de contribuer à l'actualisation de l'Appendice 28 du RR,

recommande

1. que les méthodes permettant de déterminer les zones de coordination des stations terriennes d'émission et de réception décrites en Annexe 1 devraient être utilisées aux fins de l'actualisation totale ou partielle des procédures actuellement définies dans l'Appendice 28 du RR;

* La procédure décrite dans la présente Recommandation ne s'applique qu'aux stations de radiocommunications installées sur la surface de la Terre.

2. que toute mise à jour de l'Appendice 28 du RR aille de pair avec l'adoption d'une Résolution analogue à la Résolution N° 60 de la CAMR-79, mais d'une portée plus vaste afin que l'Appendice 28 du RR puisse être modifié en fonction de l'évolution de la technique et des connaissances nouvellement acquises, qui pourraient justifier de tels amendements.

Note 1 – La procédure décrite à l'Annexe 1 s'applique aux cas où la zone de coordination doit être déterminée à partir de valeurs spécifiées du brouillage admissible. La procédure est indiquée pour la détermination de la zone de coordination dans la bande de fréquences où le service spatial met en œuvre un satellite en orbite géostationnaire ou géosynchrone légèrement inclinée et bénéficie d'une attribution unidirectionnelle (Terre-espace ou espace-Terre).

Dans les bandes de fréquences où les services spatiaux bénéficient d'une attribution bidirectionnelle (c'est-à-dire Terre-espace et espace-Terre), la procédure à suivre est indiquée dans la Recommandation UIT-R IS.848.

Pour les stations terriennes utilisant des satellites en orbite non géostationnaire (par exemple, en orbite terrestre basse), la procédure à suivre est indiquée dans la Recommandation UIT-R IS.849.

Dans les cas où la zone de coordination est basée sur une distance de coordination préalablement déterminée par rapport au site d'une station terrienne ou par rapport à la zone dans laquelle la station terrienne peut fonctionner, on applique les dispositions de la Recommandation UIT-R IS.850. Cette même Recommandation s'applique pour une station terrienne opérant avec des satellites géostationnaires et non géostationnaires lorsqu'il est nécessaire d'utiliser une distance de coordination prédéterminée, par exemple lorsqu'on ne peut pas déterminer la distance de coordination en appliquant les procédures prévues dans les Recommandations UIT-R IS.847 ou UIT-R IS.849, respectivement.

A noter que les distances de coordination indiquées dans la Résolution N° 46 de la CAMR-92 l'emporteront peut-être sur les distances déterminées à l'aide des méthodes susmentionnées dans les bandes où s'appliquent les dispositions de la Résolution N° 46.

Les cartes des Fig. 4, 5, 6 ont été reprises de la Recommandation UIT-R PN.837. Cette Recommandation sera remise à jour lorsque des statistiques pluviométriques seront complétées, auquel cas on pourra utiliser la nouvelle version de la Recommandation.

Note 2 – Les méthodes décrites dans la présente Recommandation et dans la Recommandation UIT-R IS.848 pour la détermination de la zone de coordination diffèrent de celles de l'Appendice 30A du RR sur plusieurs points importants. De plus, les cartes hydrométéorologiques des Appendices 30 et 30A diffèrent de celles de la présente Recommandation. Il est souhaitable, à l'occasion des futures révisions du Règlement des radiocommunications, d'aligner les Appendices 30 et 30A avec les textes les plus récents de l'UIT-R.

ANNEXE 1

Détermination de la zone de coordination pour une station terrienne opérant avec une station spatiale géostationnaire

1. Introduction

La procédure décrite ci-dessous permet de déterminer la zone de coordination autour d'une station terrienne qui émet des signaux radioélectriques ou qui reçoit de tels signaux d'une station spatiale géostationnaire dans les bandes de fréquences comprises entre 1 et 60 GHz, utilisées en partage entre les services de radiocommunications spatiales et de Terre.

Cette procédure convient pour la détermination de la zone de coordination dans les bandes de fréquences qui sont unilatéralement (Terre-espace ou espace-Terre) attribuées aux services spatiaux. La procédure à suivre pour les bandes de fréquences qui sont bilatéralement attribuées (Terre-espace et espace-Terre) aux services spatiaux est définie dans la Recommandation UIT-R IS.848. La procédure à suivre pour les stations terriennes de services spatiaux utilisant des stations spatiales non géostationnaires (par exemple, en orbite basse) est présentée dans la Recommandation UIT-R IS.849.

Le fonctionnement des stations terriennes et des stations de Terre d'émission et de réception dans des bandes partagées entre 1 et 60 GHz peut donner lieu à des brouillages entre les stations des deux services. L'importance de ces brouillages dépend de l'affaiblissement de transmission le long du trajet de brouillage, lequel dépend de facteurs tels

que la longueur et la géométrie d'ensemble du trajet de brouillage (par exemple effet d'écran dû au terrain), les effets directifs des antennes, les conditions radioclimatiques et le pourcentage du temps pendant lequel l'affaiblissement de transmission doit être dépassé.

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

On obtient la zone de coordination en déterminant, dans tous les azimuts à partir d'une station terrienne, les distances de coordination et en traçant à l'échelle, sur une carte appropriée, le contour de coordination qui délimite la zone de coordination.

Bien qu'elle soit fondée sur des données techniques, la notion de «distance de coordination» est de nature administrative. Comme on détermine la zone de coordination avant d'examiner en détail des cas précis de brouillage possible, on est obligé de fonder cette détermination sur des valeurs supposées des paramètres des systèmes de Terre, tandis que les paramètres pertinents des stations terriennes sont connus. Pour éviter de ralentir les progrès techniques dans le domaine des systèmes de Terre on doit choisir, pour les paramètres pris comme hypothèse, des valeurs quelque peu supérieures à celles qui sont actuellement utilisées.

Il faut souligner que la présence ou l'installation d'une station de Terre à l'intérieur de la zone de coordination d'une station terrienne risque (bien que ce ne soit pas le cas général) d'affecter le bon fonctionnement de la station terrienne ou de cette station de Terre, car la méthode de détermination de la zone de coordination est fondée sur les hypothèses les plus défavorables en ce qui concerne les brouillages mutuels.

Il est aussi à noter que le fonctionnement d'une station de Terre située à l'intérieur d'une zone de coordination n'est pas affecté dès lors que cette station a été coordonnée. Aussi les administrations n'ont-elles pas besoin d'éviter de déployer de nouvelles installations de Terre dans une zone de coordination.

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

- celui où la station terrienne fonctionne à l'émission (et où elle risque donc de brouiller les réceptions de stations de Terre),
- celui où la station terrienne fonctionne à la réception (et où elle risque donc d'être brouillée par les émissions de stations de Terre).

Quand une station terrienne est destinée à émettre ou à recevoir diverses classes d'émissions, les paramètres de station terrienne à utiliser pour la détermination du contour de coordination doivent être ceux qui conduisent aux distances de coordination les plus grandes, pour chaque faisceau d'antenne de station terrienne et dans chaque bande de fréquences attribuée que la station terrienne se propose d'utiliser en partage avec les services de Terre.

Il est suggéré de tracer, en plus du contour de coordination, des contours auxiliaires fondés sur des hypothèses plus favorables que celles qui ont été utilisées pour la détermination du contour de coordination. Ces contours auxiliaires peuvent être utilisés pour éliminer, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à des calculs plus précis, le cas de certaines stations de Terre existantes ou en projet situées à l'intérieur de la zone de coordination.

En outre, il convient chaque fois que possible d'établir des contours de coordination supplémentaires pour définir une zone de coordination plus petite pour un autre type de service de Terre où les hypothèses techniques s'appliqueraient à toutes les conditions susceptibles de caractériser les deux services touchés. Ces contours supplémentaires sont particulièrement importants lorsque l'on prend l'hypothèse de stations du service fixe utilisant la diffusion troposphérique, mais que l'on doit tenir compte de la présence éventuelle d'autres stations fonctionnant dans une configuration en visibilité ou bien lorsque l'on prend l'hypothèse de stations du service fixe, mais que l'on doit tenir compte de la présence éventuelle de stations du service mobile (à l'exception du service mobile aéronautique). On peut également tracer les contours auxiliaires par rapport à un contour supplémentaire; il conviendrait de les présenter sur une carte de telle sorte qu'ils se distinguent du contour de coordination.

Il y a lieu de déterminer la zone de coordination d'une station terrienne opérant avec une station spatiale géostationnaire en orbite géosynchrone légèrement inclinée pour calculer l'angle d'élévation minimal et l'azimut associé sous lesquels la station spatiale est visible de la station terrienne.

2. Considérations générales

2.1 Notion d'affaiblissement de transmission minimal admissible

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

La valeur de l'affaiblissement requis entre un émetteur brouilleur et un récepteur brouillé est donnée par l'affaiblissement de transmission minimal admissible (dB) pendant $p\%$ du temps (valeur que l'affaiblissement de transmission réel ou prévu doit dépasser pendant $(100 - p)\%$ du temps)*:

$$L(p) = P_{t'} - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (1)$$

dans cette formule:

$P_{t'}^{**}$: niveau de puissance d'émission maximale (dBW) disponible dans la largeur de bande de référence, à l'entrée de l'antenne d'une station brouilleuse

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

$P_{t'}$ et $P_r(p)$ sont définis pour la même largeur de bande radioélectrique (largeur de bande de référence) et $L(p)$ et $P_r(p)$ sont définis pour le même pourcentage de temps, imposé par les critères de qualité du système brouillé.

Seuls de faibles pourcentages du temps présentent de l'intérêt dans cette question, aussi faut-il distinguer entre deux mécanismes de propagation nettement différents pour une émission brouilleuse:

- la propagation de signaux dans la troposphère, sur des trajets voisins du grand cercle: Mode de propagation 1 (voir le § 3);
- la propagation de signaux par diffusion par des hydrométéores: Mode de propagation 2 (voir le § 4).

2.2 Notion d'affaiblissement de propagation minimal admissible

Dans le cas du Mode de propagation 1, l'affaiblissement de transmission est défini sous forme de paramètres séparables, à savoir un affaiblissement de propagation (c'est-à-dire entre antennes isotropes), et les gains effectifs des antennes aux deux extrémités du trajet de brouillage. L'affaiblissement de propagation minimal admissible peut s'exprimer par:

$$L_b(p) = P_{t'} + G_{t'} + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

$L_b(p)$: affaiblissement de propagation minimal admissible (dB) pendant $p\%$ du temps (valeur que l'affaiblissement de propagation réel ou prévu doit dépasser pendant $(100 - p)\%$ du temps)

$G_{t'}$: gain isotrope (dB) de l'antenne d'émission de la station brouilleuse. Si la station brouilleuse est une station terrienne, il s'agit du gain de l'antenne vers l'horizon physique dans un azimut donné; dans le cas d'une station de Terre, on utilisera le gain maximal prévu de l'antenne de cette station

G_r : gain isotrope (dB) de l'antenne de réception de la station brouillée. Si la station brouillée est une station terrienne, il s'agit du gain vers l'horizon physique dans un azimut donné; dans le cas d'une station de Terre, on utilisera le gain maximal prévu de l'antenne de cette station.

* Lorsque p est un faible pourcentage de temps, compris entre 0,001% et 1%, le brouillage est dit à court terme; lorsque p est supérieur ou égal à 20%, le brouillage est dit à long terme.

** Les symboles munis du signe prime (') se rapportent aux caractéristiques de la station brouilleuse.

L'Appendice 1 décrit la méthode numérique permettant de déterminer l'angle minimal entre l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne et l'horizon physique en fonction de l'azimut, ainsi que les gains d'antennes correspondants. Dans le cas de stations spatiales sur orbite géostationnaire légèrement inclinée, les angles minimaux et les gains d'antenne correspondants sont fonctions de l'angle d'inclinaison maximal utilisé pour les besoins de la coordination.

2.3 Détermination et tabulation des paramètres de brouillage

2.3.1 Niveau admissible de l'émission brouilleuse

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

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

où:

- k : constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
- T_e : température de bruit thermique du système de réception (K), aux bornes de l'antenne de réception (voir la Note 1)
- N_L : apport de bruit à la liaison (voir la Note 2)
- B : largeur de bande de référence (Hz) (c'est-à-dire largeur de bande intéressant le système brouillé, dans laquelle on peut déterminer la valeur moyenne de la puissance de l'émission brouilleuse)
- p : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant d'une source peut dépasser la valeur admissible, du fait de la non-simultanéité probable des cas de brouillage $p = p_0/n$
- p_0 : pourcentage du temps pendant lequel le brouillage provenant de toutes les sources peut dépasser la valeur seuil
- n : nombre de cas de brouillage équiprobables, de niveau égal équivalent supposés non corrélés pendant de faibles pourcentages du temps
- M_s : marge de performance de la liaison (dB) (voir la Note 3)
- W : facteur d'équivalence (dB) permettant d'établir une relation entre le brouillage provenant d'émissions brouilleuses et le brouillage provoqué par l'introduction d'un bruit thermique supplémentaire de même puissance dans la largeur de bande de référence. Ce facteur est positif dans les cas où les émissions brouilleuses causeraient davantage de dégradation que le bruit thermique (voir la Note 4).

Les Tableaux 1 et 2 donnent les valeurs des paramètres ci-dessus.

Dans certains cas, une administration peut avoir des raisons de penser que, pour sa station terrienne de réception, il peut être justifié d'adopter des valeurs qui diffèrent de celles qui sont indiquées dans le Tableau 2. Il convient d'attirer l'attention sur le fait que, pour certains systèmes particuliers, il peut être nécessaire de modifier les largeurs de bande B ou, par exemple dans le cas des systèmes à assignation en fonction de la demande, les pourcentages de temps p et p_0 par rapport aux valeurs indiquées dans le Tableau 2.

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

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

où:

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

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

Note 2 – Le facteur N_L est l'apport de bruit à la liaison. Dans le cas d'un répéteur de satellite, il comprend le bruit sur la liaison montante, le bruit d'intermodulation, etc. On a généralement les valeurs suivantes:

$N_L = 1$ dB pour les liaisons du service fixe par satellite

$N_L = 0$ dB pour les liaisons de Terre.

Note 3 – M_s est le facteur d'accroissement du bruit de la liaison par temps clair nécessaire pour obtenir la qualité minimale spécifiée. C'est la somme (dB) des deux marges M_0 (marge de qualité naturelle) et ΔM (marge excédentaire de fonctionnement). La marge de qualité naturelle M_0 est la différence (dB) entre les deux valeurs du rapport C/N qui permettrait juste d'obtenir la qualité nominale spécifiée («à long terme») et la qualité minimale spécifiée («à court terme»), respectivement. La marge excédentaire ΔM est la différence (dB) entre le rapport C/N réel par temps clair et celui qui permettrait d'obtenir la qualité nominale spécifiée; elle peut être égale à 0 dB. Ainsi, M_s est la marge d'évanouissement réelle mais aussi la marge d'accroissement du bruit de fond par temps clair (causé par exemple par des émissions brouilleuses) nécessaire pour obtenir les conditions propres à assurer la qualité minimale.

La Recommandation UIT-R F.393 spécifie la qualité pour le circuit fictif de référence (CFR) de 2 500 km dans les systèmes de faisceaux hertziens analogiques de Terre. Un seul bond (de 50 km) sur 50 peut entraîner une dégradation de l'ensemble du CFR (qualité minimale spécifiée) dans une marge comprise entre une valeur nominale de 150 pW0p du bruit de voie téléphonique (3 pW0p/km) et la valeur maximale de 47 500 pW0p. Etant donné que le bruit avant démodulation et la qualité de la voie téléphonique après démodulation sont proportionnels, $M_0 = 10 \log (47\ 500/150)$ soit 25 dB. Cependant, l'évanouissement survenant à chaque bond exige que l'on dispose d'une marge suffisante pour satisfaire aux spécifications de qualité minimale; aussi le bond moyen représente-t-il, dans des conditions sans évanouissement, 25 pW0p de bruit. Il en résulte que $\Delta M = 10 \log (150/25) = 7,8$ dB, et $M_s = 25 + 7,8 \cong 33$ dB.

Dans les systèmes numériques de Terre, la qualité à court terme est garantie par une marge d'évanouissement, M_s , de 25 à 40 dB. Etant donné qu'il est peu probable qu'un brouillage amélioré à court terme se produise en même temps que des évanouissements sur l'onde porteuse, toute la marge d'évanouissement peut être utilisée par ce brouillage.

Dans les systèmes analogiques du service fixe par satellite, la Recommandation UIT-R S.353 donne pour M_0 la valeur suivante $M_0 = 10 \log (50\ 000/10\ 000) = 7$ dB. Cette valeur étant suffisante pour faire face à un évanouissement, au moins dans les fréquences inférieures à 17 GHz environ, on prend pour ΔM la valeur 0 dB, de sorte que $M_s = 7$ dB. Pour les fréquences supérieures à environ 17 GHz, il convient de supposer pour ΔM une valeur supérieure à 0 dB.

Dans les systèmes numériques du service fixe par satellite, la valeur de M_0 peut ne pas dépasser 1 dB pour les circuits à satellite réels. Dans ces circuits, grâce à la présence de codes de correction d'erreur directe sans voie de retour (CED), la courbe du TEB en fonction du rapport C/N présente une très forte pente. En outre, avec des TEB ne dépassant pas 1×10^{-5} , le décodeur de modem peut perdre le synchronisme du train de bits d'arrivée au fur et à mesure que l'algorithme du CED du modem commence à se répartir. Le temps de récupération pourrait être assez long, en particulier à des taux binaires très faibles. Ainsi, une dégradation du C/N ne dépassant pas 1,0 dB quand le TEB est égal à 1×10^{-7} , pourrait entraîner une dégradation de la qualité et/ou une interruption de quelques secondes à plusieurs minutes pour l'utilisateur final. La faible valeur de M_0 , c'est-à-dire 1 dB, risque de ne pas suffire pour faire face à l'évanouissement sur des liaisons réelles, de sorte qu'il convient de calculer M_s directement à partir de la profondeur d'évanouissement prévue pour les pourcentages de temps réels considérés. Les valeurs réelles de M_s seront donc :

f (GHz)	M_s (dB)
< 10	2
10 à 17	4
> 17	6

TABLEAU 1

Paramètres requis pour la détermination de la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne d'émission

Désignation du service de radiocommunications spatiales	Exploitation spatiale		Mobile par satellite Mobile terrestre par satellite Mobile maritime par satellite		Mobile par satellite	Recherche spatiale Exploitation spatiale Exploration de la Terre par satellite	Fixe par satellite Mobile par satellite	Fixe par satellite		Recherche spatiale		Fixe par satellite Mobile par satellite Météorologie par satellite		Fixe par satellite		Fixe par satellite		Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite	
	A	N	A	N	A	A	A	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	N	N	N	
Bandes de fréquences (GHz)	1,427-1,429		1,6100-1,6455 1,6565-1,6600 1,675-1,710		1,970-2,010	2,025-2,110 2,110-2,120 (Espace lointain)	2,655-2,690	5,725-7,075		7,145-7,235		7,900-8,400		10,7-11,7		12,5-13,25 13,75-14,8		17,7-18,1	24,75-25,25 27-29,5	42,5-51,4	
Modulation à la station de Terre ⁽¹⁾	A	N	A	N	A	A	A	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	N	N	N	
Paramètres et critères de brouillage de la station de Terre	p_0 (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,001	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	n	2	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	1
	p (%)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,005
	N_L (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	M_s (dB)	33	33	33	33	26 ⁽²⁾	26 ⁽²⁾	26 ⁽³⁾	33	37	33	37	33	37	33	37	33	40	25	25	25
	W (dB)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paramètres de la station de Terre	G_r (dB) ⁽⁴⁾	35	35	35	35	52 ⁽²⁾	52 ⁽²⁾	52 ⁽³⁾	45	45	47	47	47	47	50	50	50	50	50	50	50
	ΔG (dB)	-7	-7	-7	-7	10 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	3	3	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8
	T_r (K)	750	750	750	750	500 ⁽²⁾	500 ⁽²⁾	500 ⁽³⁾	750	750	750	750	750	750	1 500	1 500	1 500	1 500	3 200	3 200	3 200
Largeur de bande de référence	B (Hz)	4×10^3	10^6	4×10^3	10^6	4×10^3	4×10^3	4×10^3	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	1×10^6	1×10^6	10^6
Niveau du seuil de brouillage	$P_r(p)$ (dBW) dans B	-131	-107	-131	-107	-140	-140	-140	-131	-103	-131	-103	-131	-103	-128	-100	-128	-97	-109	-109	-109

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

(2) On a utilisé les paramètres des stations de Terre associées à des systèmes transhorizon. Les paramètres des faisceaux hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 1,675-1,710 GHz peuvent également servir à déterminer une zone de coordination conformément au § 2.3.1.

(3) On a utilisé les paramètres des stations de Terre associées à des systèmes transhorizon. Les paramètres des faisceaux hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 5,725-7,075 GHz peuvent également servir à déterminer une zone de coordination conformément au § 2.3.1 sauf que $G_r = 37$ dB et $\Delta G = -5$ dB.

(4) Il n'est pas tenu compte des pertes dans la ligne d'alimentation.

TABLEAU 2

Paramètres requis pour la détermination de la distance de coordination dans le cas d'une station terrienne de réception

Désignation du service de radiocommunications spatiales	Mobile par satellite Mobile terrestre par satellite Mobile maritime par satellite	Exploitation spatiale	Météorologie par satellite	Recherche spatiale		Exploitation spatiale	Exploitation de la Terre par satellite	Fixe par satellite		Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite	Fixe par satellite Météorologie par satellite Mobile par satellite	Exploitation de la Terre par satellite	Recherche spatiale		Fixe par satellite	Météorologie par satellite	Fixe par satellite	Mobile par satellite		
				Au voisinage de la Terre	Espace lointain			A	N							A	N						
Bandes de fréquences (GHz)	1,492-1,530 1,555-1,559 2,160-2,200 2,4835-2,5200 (1)	1,525-1,530	1,670-1,710 (2)	1,700-1,710 2,200-2,290	2,290-2,300 (Espace lointain)	2,200-2,290	2,200-2,290	2,500-2,690	3,400-4,200			4,500-4,800		7,250-7,750	8,025-8,400	8,400-8,500		10,7-12,75		17,7-47,0			
Modulation à la station terrienne(3)	N	N		N	N	N	N	A	N	A	N	A	N	A	N	-	-	-	A	N		N	
Paramètres et critères de brouillage de la station terrienne	p_0 (%)	10	1,0	0,1	0,001	1	1	0,03	0,003	0,03	0,005	0,03	0,005	0,03	0,005	1,0	0,1	0,001	0,03	0,003		0,003	
	n	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3		2	1	2	2		2	
	p (%)	10	1,0	0,05	0,001	0,5	0,5	0,01	0,001	0,01	0,002	0,01	0,002	0,01	0,002		0,05	0,001	0,015	0,002		0,002	
	N_L (dB)	0		-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1		-	-	1	1		1	
	M_S (dB)	1(4)		-	-	-	-	7	2	7	2	7	2	7	2		-	-	7	4		6	
W (dB)	0	0	-	-	-	-	4	0	4	0	4	0	4	0		-	-	4	0		0		
Paramètres de la station de Terre	E (dBW)	A	37(6)	50	92(7)	62(7)(8)	62(7)(8)	62(7)	92(7)	92(7)	55	55	92(9)	92(9)	55	55	55	25(8)	25(8)	55	55	-	
	dans B (5)	N	37	37					42	42	42(10)	42(10)	45	45	42		-18	-18	42	42		40	
	P_T (dBW)	A	0	13	40(7)	10(7)(8)	10(7)(8)	10(7)	40(7)	40(7)	40(7)	13	13	40(9)	40(9)	13	13	13	-17(8)	-17(8)	10	10	-
	dans B	N	0	0								0	0	0	0	3	3	0	-60	-60	-3	-3	-7
ΔG (dB)		-5	-5	10(7)	10(7)	10(7)	10(7)	10(7)	10(7)	10(7)	0	0	10(9)(10)	10(9)(10)	0	0	0	0	0	3	3	5	
Largeur de bande de référence(11)	B (Hz)	4×10^3	10^3	10^6	1	1	10^3	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	10^6	1	1	10^6	10^6		10^6	
Niveau du seuil de brouillage	P_T (p) (dBW) dans B	-176	-184		-216	-222	-184	-154	-	-	-	-	-	-	-	-154	-220	-220	-	-		-	

Notes relatives au Tableau 2:

- (1) Dans ces bandes, on a utilisé les paramètres des stations de Terre associées à des faisceaux hertziens en visibilité directe. Si une administration estime superflu de tenir compte des systèmes transhorizon dans les bandes 2,160-2,200 GHz et 2,4835-2,5200 GHz, elle peut employer les paramètres associés à la bande de fréquences 2,500-2,690 GHz pour déterminer la zone de coordination conformément au § 2.3.1.
- (2) Dans la bande 1,670-1,700 GHz, un contour supplémentaire est nécessaire pour la coordination avec le service des auxiliaires de la météorologie. Voir le Tableau 2 de la Recommandation UIT-R IS.850 pour les détails des calculs.
- (3) A: modulation analogique; N: modulation numérique.
- (4) Cette valeur est fondée sur un rapport de brouillage de 25%. Voir la Note 3 du § 2.3.1.
- (5) E est définie comme la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de la station de Terre brouilleuse dans la largeur de bande de référence.
- (6) Cette valeur a été réduite par rapport à la valeur nominale de 50 dBW aux fins de la détermination de la zone de coordination, compte tenu de la faible probabilité que des émissions de grande puissance entrent entièrement dans la bande relativement étroite de la station terrienne.
- (7) Comme dans la Note (9) sauf que $E = 50$ dBW pour les stations de Terre analogiques et $\Delta G = -5$ dB. Toutefois, pour le service de recherche spatiale uniquement, eu égard à la Note (8) dans le cadre de laquelle les systèmes transhorizon ne sont pas pris en considération, $E = 20$ dBW et $P_t = -17$ dBW pour les stations terriennes analogiques, $E = -23$ dBW et $P_t = -60$ dBW pour les stations de Terre numériques et $\Delta G = -5$ dB.
- (8) Valeurs estimées pour une largeur de bande de 1 Hz et inférieures de 30 dB à la puissance totale supposée pour chaque émission.
- (9) Dans cette bande, on a utilisé les paramètres des stations terriennes associées à des systèmes transhorizon. Si une administration estime superflu de tenir compte des systèmes transhorizon, elle peut employer les paramètres des faisceaux hertziens en visibilité directe associés à la bande de fréquences 3,4-4,2 GHz pour déterminer la zone de coordination conformément au § 2.3.1.
- (10) On suppose que les systèmes numériques ne sont pas des systèmes transhorizon. Par conséquent, $\Delta G = 0$. Pour les systèmes numériques transhorizon, on peut utiliser les paramètres ci-dessus des systèmes transhorizon analogiques.
- (11) Dans certains systèmes du service fixe par satellite, il peut être souhaitable de choisir une largeur de bande de référence B plus grande si les caractéristiques du système le permettent. Toutefois, une telle largeur de bande se traduira par des distances de coordination plus petites et une décision ultérieure visant à réduire la largeur de bande de référence pourra entraîner une nouvelle procédure de coordination de la station terrienne.

Les signaux que doit recevoir une station terrienne du service mobile peuvent ne pas être adaptables aux critères de qualité spécifiés. Il peut notamment s'avérer impossible de quantifier directement les composantes M_0 et ΔM de la marge. Pour assurer une certaine protection contre le brouillage de ces stations terriennes, le seul moyen d'en préserver la marge de fonctionnement consiste à limiter la puissance du bruit brouilleur susceptible de s'ajouter au bruit du système de réception. Le critère applicable est dès lors considéré comme le niveau admissible ΔN d'accroissement de la puissance de bruit du système de réception (par exemple 25%) exprimé en tant que pourcentage à ne pas dépasser pendant plus de $p\%$ du temps (par exemple 10 – 50%), de sorte que, pour chaque station:

$$P_r(p) = 10 \log k T B + 10 \log (\Delta N/100)$$

Il s'ensuit une marge de qualité de liaison de:

$$M_s = 10 \log (\Delta N/100 + 1)$$

Note 4 – Le facteur W (dB) est le rapport de la puissance de bruit thermique radioélectrique à la puissance reçue d'une émission brouilleuse qui, à la place de la première et contenue dans la même largeur de bande (de référence), donnerait lieu au même brouillage (par exemple à une augmentation de la puissance de bruit dans la voie téléphonique ou dans le canal vidéo, ou à une augmentation du taux d'erreur binaire). Le facteur W dépend généralement des caractéristiques du signal utile et de celles du signal brouilleur.

Pour des brouillages entre émissions de téléphonie MRF-MF, on peut calculer W au moyen de la relation:

$$W = 10 \log \left[f_m (1 + r m) D(f_m, 0) \right] \quad \text{dB} \quad (5)$$

où:

m : indice de modulation efficace du signal brouillé

r : rapport de la tension crête à la tension efficace multivoie du signal brouillé.

On notera que le terme $f_m (1 + r m)$ est égal à une demi-largeur de bande (selon la règle de Carson) du signal brouillé.

Le terme $D(f_m, 0)$ est un terme de convolution contenu dans le facteur B de réduction du brouillage de la formule (3) de la Recommandation UIT-R SF.766.

Lorsque la valeur efficace de l'indice de modulation du signal utile est supérieure à environ 0,8, W ne dépasse pas une valeur de l'ordre de 4 dB lorsque l'on prend pour largeur de bande de référence la largeur de bande de «bruit» radioélectrique du signal utile.

Pour les très faibles valeurs efficaces de l'indice de modulation du signal utile, W peut se trouver situé dans une très large gamme de valeurs; il augmente lorsque les indices de modulation du signal utile et des signaux brouilleurs diminuent les uns et les autres. En pareils cas, il s'est révélé utile de choisir comme largeur de bande de référence, la largeur de bande nominale d'une voie téléphonique, soit 4 kHz; W est alors \leq à 0 dB.

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

La Recommandation UIT-R SF.766 contient des renseignements grâce auxquels on peut déterminer W de façon plus précise.

2.3.2 Contours auxiliaires

Les contours de coordination et les contours supplémentaires de coordination sont fondés sur les hypothèses les plus défavorables concernant les possibilités de brouillage. Il est rare que des hypothèses aussi défavorables se rencontrent dans la pratique, de sorte qu'il convient de tracer des contours auxiliaires afin d'éliminer le plus possible de stations auxquelles les hypothèses extrêmes ne s'appliquent pas.

Pour le Mode de propagation 1 le long du grand cercle, l'utilisation de contours auxiliaires est avantageuse sur le plan administratif; en effet, l'administration du territoire auquel s'étend une zone de coordination peut, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un examen plus détaillé ou à un dialogue inter-administration, utiliser les contours auxiliaires pour ne pas avoir à prendre en compte certaines stations de Terre ou catégories de stations risquant d'être affectées lorsque le gain d'antenne de la station du service de Terre, ou la p.i.r.e. dans le sens de la station terrienne, est inférieur à la valeur théorique inscrite dans les Tableaux 1 et 2.

L'utilisation des contours auxiliaires s'applique tant aux stations terriennes d'émission qu'aux stations terriennes de réception.

Il convient de tracer les contours auxiliaires appropriés en réduisant de 5, 10, 15, 20 dB, etc., l'affaiblissement de transmission requis, jusqu'à une distance de coordination minimale de 100 km.

2.3.3 Contours supplémentaires de coordination

Le contour de coordination est tracé en fonction du type de station de Terre avec lequel on obtiendrait les plus longues distances de coordination. C'est pourquoi, dans la mesure où toutes les bandes considérées sont attribuées au service fixe, on a pris comme hypothèse les stations du service fixe utilisant la diffusion troposphérique dans des bandes ayant les caractéristiques requises pour être utilisées par de tels systèmes. Pour les autres bandes, on a pris comme hypothèse des stations du service fixe opérant dans des configurations en visibilité directe et utilisant la modulation analogique. Cependant, les autres systèmes de Terre ont généralement des gains d'antenne peu élevés ou présentent alors des caractéristiques moins contraignantes que celles sur lesquelles sont fondées les zones de coordination maximales. L'administration notificatrice peut éventuellement identifier un contour de coordination supplémentaire pour ces systèmes de Terre. En pareils cas (notamment ceux des systèmes numériques du service fixe), on trouvera les caractéristiques nécessaires dans les Tableaux 1 et 2. Le contour de coordination supplémentaire peut être tracé de telle sorte que ses contours auxiliaires ressortent distinctement.

Lorsque des bandes sont utilisées en partage par les services fixe et mobile, on peut également tracer des contours supplémentaires. Aucune caractéristique spécifique ne figure actuellement dans les Tableaux 1 et 2.

3. Détermination de la distance de coordination pour le Mode de propagation 1 – Mécanismes de propagation le long du grand cercle

3.1 Zones radioclimatiques

Pour calculer la distance de coordination dans le cas du Mode de propagation 1, on divise la Terre en quatre grandes zones radioclimatiques, qui se définissent comme suit:

- Zone A1: zones côtières et littorales, c'est-à-dire terres adjacentes à une Zone B ou C (voir ci-après), jusqu'à une altitude de 100 m au-dessus du niveau moyen de la mer ou des eaux, mais s'étendant sur une distance maximum de 50 km à partir de la Zone B ou C la plus proche; en l'absence de renseignements précis sur le contour de 100 m, une valeur approchée (par exemple 300 pieds) peut être utilisée;
- Zone A2: toutes les terres, autres que les zones côtières et littorales visées par la Zone A1 ci-dessus;
- Zone B: mers, océans et autres vastes étendues d'eau «froide» situés à des latitudes supérieures à 30°, à l'exception de la mer Méditerranée et de la mer Noire;
- Zone C: mers, océans et autres vastes étendues d'eau «chaude» situés à des latitudes inférieures à 30° et en outre la mer Méditerranée et la mer Noire.

Vastes étendues d'eau

Pour les besoins administratifs de la coordination, une «vaste étendue d'eau» s'étendant en zone B ou C, selon le cas, est définie comme ayant une superficie d'au moins 7 800 km², fleuves exclus. Pour le calcul de cette zone, les îles situées au milieu de ces étendues d'eau sont considérées comme de l'eau si l'élévation de plus de 90% de la surface de l'île est inférieure à 100 m au-dessus du niveau moyen de l'eau. Pour les besoins du calcul, les îles ne répondant pas à ces critères seront considérées comme des terres.

Vastes zones lacustres ou marécageuses

Les vastes étendues d'eau d'une superficie supérieure à 7 800 km² comprenant de très petits lacs ou un fleuve, peuvent poser des difficultés. En effet, les administrations peuvent les déclarer «zones côtières» A1 si elles sont recouvertes d'eau à plus de 50% et si l'élévation de plus de 90% de leur surface émergée est inférieure à 100 m au-dessus du niveau moyen de l'eau.

Il est difficile de déterminer sans ambiguïté les régions climatiques appartenant à la zone A1, les vastes étendues d'eau et les vastes zones lacustres ou marécageuses. C'est pourquoi les administrations sont invitées à notifier au Bureau des radiocommunications (BR) les régions de leur territoire national qu'elles désirent faire entrer dans ces catégories. En l'absence de ces informations, toutes les zones terrestres seront considérées comme appartenant à la zone climatique A2.

Pour assurer un maximum de cohérence dans les résultats entre les administrations, il est vivement recommandé que les calculs de cette procédure soient fondés sur la Carte du monde numérisée de l'UIT-R (IDWM), qui est à disposition pour les environnements informatiques.

3.2 Procédure de calcul de la distance de coordination pour le Mode de propagation 1

La distance de coordination pour le Mode de propagation 1 est la distance d_1 (km) qui donnera une marge d'affaiblissement de transmission existante de référence qui est égale au niveau minimal admissible de l'affaiblissement de transmission de référence $L_b(p)$ (dB), tel qu'il est défini au § 2.2.

$$L_b(p) = P_{t'} + G_e + 42 + \Delta G - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (6)$$

où:

$P_{t'}$ et $P_r(p)$ sont tels que définis au § 2.1

G_e : gain d'antenne de la station terrienne (dBi) approprié vers l'horizon à l'angle d'élévation de l'horizon et à l'azimut du trajet radial considéré

ΔG : différence (dB) entre le gain d'antenne maximal théorique admis pour la station de Terre et la valeur de 42 dB. Les Tableaux 1 et 2 indiquent les valeurs de ΔG pour différentes bandes de fréquences.

En supposant que:

$$L_1 = L_b(p) - A_1 \quad \text{dB} \quad (7)$$

où:

$$A_1 = 120 + 20 \log f + \log p + 5 p^{0,5} + A_h \quad \text{dB} \quad (8)$$

et où:

f : fréquence (GHz)

A_h : correction de l'angle d'élévation de l'horizon, θ^{o*} , donnée par l'expression:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 4,5 \theta f^{0,5} \right] + \theta f^{0,33} & \text{dB} & \text{pour } \theta \geq 0^\circ & (9a) \\ 8 \theta & \text{dB} & \text{pour } 0^\circ > \theta \geq -0,5^\circ & (9b) \\ -4 & \text{dB} & \text{pour } \theta < -0,5^\circ & (9c) \end{cases}$$

Note 1 – La valeur maximale de A_h est 30 dB; dans la pratique, l'utilisation de valeurs plus élevées n'offre pas nécessairement une garantie de protection.

Après avoir calculé L_1 , on peut déterminer la distance requise selon la formule suivante:

$$L_1 = \sum_{i=1}^n \beta_i(p) d_i \quad \text{dB} \quad (10)$$

où la série $i = 1$ à n s'applique aux différentes sections de trajet, dont chacune correspond aux types de zone A1, A2, B ou C définis au § 3.1. On peut rencontrer plusieurs sections de ce type le long de chaque trajet radial.

d_i : distance (km) parcourue sur la $i^{\text{ème}}$ section du trajet

$\beta_i(p)$: affaiblissement linéique total (dB/km) pour la $i^{\text{ème}}$ section trajet, de sorte que:

$$\beta_i(p) = 0,01 + \beta_{dz}(p) + \beta_o + \beta_{vz} \quad \text{dB/km} \quad (11)$$

* L'angle d'élévation de l'horizon est ici l'angle vu du centre de l'antenne de la station terrienne, entre le plan horizontal et un rayon qui rase l'horizon physique visible dans la direction considérée. Il est nécessaire de déterminer les angles d'élévation de l'horizon pour tous les azimuts autour d'une station terrienne. Dans la pratique, il suffira généralement de le faire selon des incréments d'azimut de 5°. Mais on fera tout le possible pour identifier et prendre en considération les angles d'élévation minimum de l'horizon qui peuvent s'intercaler entre les azimuts déterminés selon les incréments de 5°.

$\beta_{dz}(p)$: coefficient d'affaiblissement linéique (spécifique à la zone) qui a été dépassé pendant tout le temps sauf pendant le pourcentage de temps $p\%$, à cause d'anomalies de propagation

$$\beta_{dz}(p) = C_1 + C_2 \log f + C_3 p^{C_4} \quad \text{dB/km} \quad (12)$$

Le Tableau 3 donne les valeurs de C_1, C_2, C_3 et C_4 pour les quatre zones climatiques.

TABLEAU 3

Valeurs de C_1, C_2, C_3, C_4 et ρ

Zone	C_1	C_2	C_3	C_4	ρ (g/m ³)
A1	0,03	0,03	0,15	0,2	10,0
A2	0,04	0,05	0,16	0,1	7,5
B	0,015	0,015	0,05	0,15	10,0
C	0	0,015	0,04	0,15	10,0

β_o et β_{vz} sont les affaiblissements linéiques dus respectivement à l'oxygène et à la vapeur d'eau.

$$\beta_o = \begin{cases} \left[7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} \text{ dB/km} & \text{pour } f < 57 \text{ GHz} \\ \beta_o = \beta_{o(57)} + 1,5(f - 57) \text{ dB/km} & \text{pour } 57 \leq f \leq 60 \text{ GHz} \end{cases} \quad (13a)$$

où:

$\beta_{o(57)}$ est la valeur de β_o que l'on obtient en utilisant l'équation (13a) et une fréquence de 57 GHz.

$$\beta_{vz} = \left\{ 0,050 + 0,0021 \rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f - 183,3)^2 + 9,0} + \frac{8,9}{(f - 325,4)^2 + 26,3} \right\} f^2 \rho 10^{-4} \quad \text{dB/km} \quad \text{pour } f < 350 \text{ GHz} \quad (14)$$

Les valeurs de β_{vz} dépendent de la zone climatique et doivent être calculées à l'aide des valeurs appropriées de la concentration en vapeur d'eau ρ (g/m³) indiquées au Tableau 3 ci-dessus.

L'équation (10) montre qu'il peut être nécessaire de déterminer par calcul itératif la distance pour le Mode de propagation global 1. En utilisant des longueurs de section de trajet D_i calculées d'avance pour chaque trajet radial à partir de l'emplacement de la station terrestre, calculer et additionner, en dB, les valeurs des produits $\beta_i(p) D_i$ pour les sections de trajet successives jusqu'à ce que la somme dépasse L_1 (dB); cela permettra d'obtenir la valeur n . Cependant, l'inclusion de toute la longueur de la $n^{\text{ème}}$ section, en particulier si celle-ci se trouve au-dessus de la mer, donnera généralement une distance totale nettement supérieure à la distance nécessaire pour obtenir L_1 (dB). Donc, en supposant que:

$$\sum_{i=1}^n \beta_i(p) D_i > L_1 \quad \text{dB} \quad (15)$$

la pénétration partielle d_n requise dans la zone n^{th} sera déterminée par interpolation linéaire:

$$d_n = \left[L_1 - \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i(p) D_i \right] / \beta_n \quad \text{km} \quad (16)$$

La distance de coordination pour le Mode de propagation 1, d_1 , s'obtient comme suit:

$$d_1 = \begin{cases} d_n + \sum_{i=1}^{n-1} D_i & \text{km pour } n > 1 \\ L_1 / \beta_1 & \text{km pour } n = 1 \end{cases} \quad (17)$$

Cependant, la valeur de d_1 est assujettie aux limites définies au § 3.3 ci-après.

3.3 Distances de coordination maximales pour le Mode de propagation 1

Pour les trajets à l'intérieur d'une seule zone, la distance ne devra pas dépasser la valeur indiquée pour cette zone dans le Tableau 4.

Pour les trajets mixtes, la distance de coordination pourra comprendre des contributions émanant des zones A1, A2, B et C. La distance totale à l'intérieur d'une zone quelconque ne devra pas dépasser la valeur indiquée au Tableau 4 et le total des distances combinées dans les zones A1 et A2 n'excédera pas 500 km. La distance de coordination globale ne devra pas dépasser la valeur indiquée au Tableau 4 pour la zone dans laquelle passe le trajet mixte ayant la valeur la plus élevée du Tableau 4.

TABLEAU 4

Distances de coordination maximales pour le Mode de propagation 1

Zone	d_{m1} (km)
A1	500
A2	350
B	900
C	1 200

4. Détermination de la distance de coordination pour le Mode de propagation 2 – Diffusion par les hydrométéores

La distance de coordination en cas de diffusion par les hydrométéores est celle qui résulte d'un affaiblissement de transmission existant L_2 égal au niveau minimal admissible d'affaiblissement de transmission $L(p)$ défini au § 2.1 ci-dessus.

$$L(p) = P_{t'} - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (18)$$

Comme l'indique le § 2, la distance de coordination minimale est de 100 km. Pour le cas général de brouillage imputable à la diffusion par les hydrométéores, on considère qu'une telle distance assure une protection adéquate; quant aux cas particuliers de brouillage, il suffit de les évaluer à l'intérieur de cette distance à partir de la station terrienne. Cependant, on peut rencontrer des combinaisons particulières de caractéristiques de systèmes, par exemple une forte puissance de l'émetteur brouilleur et/ou un faible niveau admissible de brouillage au récepteur brouillé, d'où la nécessité de doter la station de réception d'une protection supplémentaire contre le brouillage imputable à la diffusion par les hydrométéores.

Par conséquent, lorsque l'affaiblissement de transmission requis, $L(p)$, dépasse de plus de ΔG dB la valeur indiquée au Tableau 5 pour la bande de fréquences et la zone hydrométéorologique (voir l'Appendice 3) correspondant à la station terrienne, il convient d'appliquer la procédure indiquée à l'Appendice 2 pour effectuer l'extension de contour requise pour le Mode de propagation 2.

TABLEAU 5

**Seuils d'affaiblissement de transmission (dB) à utiliser
dans les calculs des extensions de contours pour le Mode de propagation 2**

Bande de fréquences (GHz)	Caractéristiques hydrométéorologiques				
	A, B	C, D, E	F, G, H, J, K	L, M	N, P, Q
1	152	148	144	141	136
4	140	136	132	129	125
6	138	134	130	127	124
8	136	132	129	126	124
10	135	131	129	127	126
12	134	131	129	127	126
14	135	132	130	128	127
18	138	136	134	132	131
20	144	142	140	139	137
22,4	153	151	149	148	146
25	149	147	145	144	142
28	147	145	143	141	139
30	147	145	143	141	140
35	151	149	147	145	143
40-60	157	155	153	151	149

5. Valeur minimale de la distance de coordination

Si la valeur obtenue par la méthode de détermination de la distance de coordination d_1 pour le Mode de propagation 1 est inférieure à 100 km, on considérera que d_1 est égale à 100 km. De même, on prendra 100 km comme distance de coordination minimale pour le Mode de propagation 2, mesurée à partir de la station terrienne dans un quelconque azimut, sous lequel on aura identifié un point situé à moins de 100 km de la station terrienne par la méthode de détermination de la distance en cas de diffusion par hydrométéores.

6. Le contour de coordination

Dans un azimut quelconque, la plus grande des distances de coordination (d_1 ou d_2) est la distance de coordination à utiliser pour construire le contour de coordination. Quant à statuer sur la possibilité de négliger l'un des modes de propagation au moment de déterminer si une station de Terre d'une certaine classe doit être considérée comme perturbée, la réponse à cette question est plus aisée lorsqu'on trace en pointillés la partie du contour du Mode de propagation 1 située dans la zone du Mode de propagation 2, et la partie du contour pour le Mode de propagation 2 située à l'intérieur de la zone pour le Mode de propagation 1.

La Fig. 1 montre un exemple de contour de coordination.

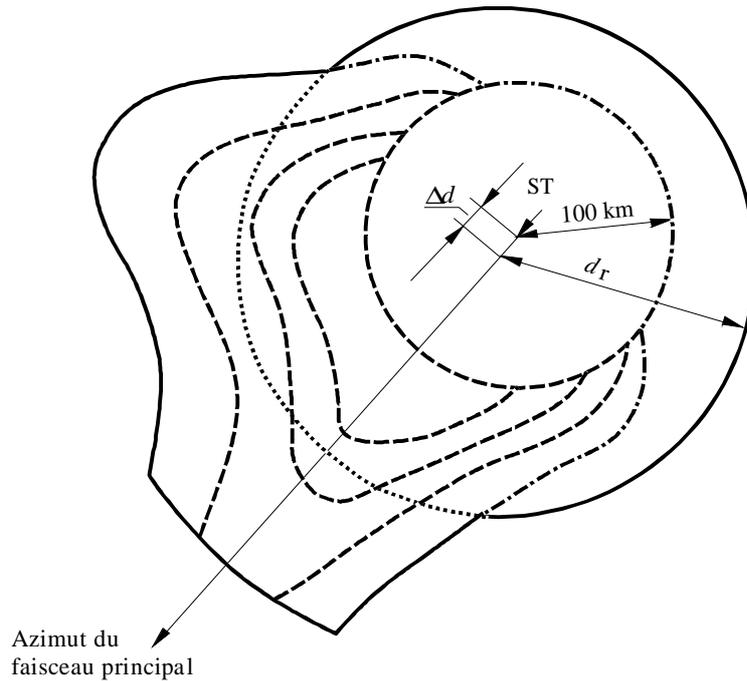
7. Calcul par ordinateur

A partir de la méthode décrite ci-dessus, on peut générer le contour de coordination et les contours auxiliaires ou supplémentaires. Si nécessaire, ceux-ci peuvent être directement tracés.

La Carte du monde numérisée de l'UIT-R (IDWM), le logiciel d'extraction de données et le logiciel permettant de calculer les zones de coordination conformément au Règlement des radiocommunications, les Normes techniques et les Règles de procédure de l'UIT-R, sont à la disposition des administrations. Selon les dispositions de l'Article 11 du Règlement des radiocommunications, une administration, plus particulièrement celle d'un pays qui a besoin d'une assistance spéciale, peut demander au BR de calculer une zone de coordination et d'établir un document la concernant. En outre, quelques administrations ont soumis à l'UIT des programmes d'ordinateur capables non seulement de calculer la zone de coordination et les contours auxiliaires ou supplémentaires, mais aussi d'exécuter une sorte de post-traitement, comme l'élimination d'une série de stations du service fixe par rapport au contour.

FIGURE 1

Exemple de contour de coordination dans le cas
d'une station terrienne opérant avec un satellite géostationnaire



ST: station terrienne

Δd : voir l'équation (48) dans l'Appendice 2 de l'Annexe 1

- Contour de coordination
- - - - - Contour pour le Mode de propagation 1
- Contour pour le Mode de propagation 2
- . - . - Contours auxiliaires pour le Mode de propagation 1

Note 1 – Si, en utilisant les contours auxiliaires, on constate que, du point de vue du Mode de propagation 1, on peut éliminer une station de Terre, il s'ensuit que:

- si la station de Terre se trouve à l'extérieur du contour correspondant au Mode de propagation 2, on peut ne plus en tenir compte;
- si la station de Terre se trouve à l'intérieur du contour correspondant au Mode de propagation 2, on continuera à en tenir compte, mais pour ce mode seulement.

D01

8. Considérations d'ordre opérationnel aux fréquences supérieures à 10 GHz

Aux fréquences supérieures à 10 GHz, l'affaiblissement dû à la pluie affaiblit les signaux reçus par les stations terriennes ou spatiales pendant de faibles pourcentages du temps, et cela d'autant plus que la fréquence est plus élevée.

Lorsque les marges de puissance sur la liaison montante ou descendante sont insuffisantes pour maintenir la continuité requise du service, on peut être amené à recourir à la diversité d'emplacement, à la commande de puissance ou à l'une et l'autre de ces mesures.

Lorsque l'on utilise la commande de puissance sur la liaison montante afin de combattre l'affaiblissement dû à la pluie sur le trajet Terre-espace, l'augmentation de puissance tendra à augmenter les risques de brouillage au détriment de systèmes de Terre en direction desquels il se peut que l'affaiblissement n'ait pas augmenté. Il peut donc se révéler nécessaire de déterminer les contours de coordination en tenant compte des puissances maximales qui peuvent être rayonnées ainsi que des pourcentages du temps pendant lesquels on peut avoir à appliquer des niveaux donnés de commande de puissance. On admet que la puissance maximale qui peut être émise par une station terrienne d'émission doit servir à déterminer la zone de coordination. Toutefois, la puissance d'émission ne sera accrue que lorsque l'affaiblissement dû à la pluie dépassera une valeur spécifiée. Par conséquent, cette augmentation de puissance ne contribuera pas au brouillage dû à la propagation guidée, qui est un phénomène observé par ciel clair. Par conséquent, la puissance maximale d'émission disponible qui sert à déterminer la zone de coordination du Mode de propagation 1 doit différer de celle utilisée pour le Mode de propagation 2. En réalité, pour le Mode de propagation 1, il semble approprié d'utiliser comme puissance d'émission disponible la puissance maximale émise dans des conditions de ciel clair.

Lorsque l'on utilise la diversité d'emplacement afin de combattre l'affaiblissement, on devra déterminer les contours de coordination pour les deux emplacements. Les précipitations constituant le phénomène auquel est surtout dû l'affaiblissement, l'exploitation en chacun des deux emplacements ne se fera en général que jusqu'à une valeur donnée de l'affaiblissement, c'est-à-dire jusqu'à un taux de précipitation donné, au-delà duquel on devra passer à l'autre emplacement. Il en résulte que l'on n'aura à déterminer les distances de coordination dues à la diffusion par la pluie que pour les taux de précipitation pour lesquels le passage à l'autre emplacement doit avoir lieu. Ces derniers taux étant notablement inférieurs aux taux maximaux pour le pourcentage du temps pour lequel la continuité du service doit être maintenue, il se peut que les zones de coordination pour la diffusion due à la pluie soient nettement inférieures à celle qui est valable pour un emplacement unique, c'est-à-dire sans diversité. Il y a lieu de noter que cet avantage peut se présenter aussi bien pour une station terrienne d'émission que pour une station terrienne de réception.

9. Stations terriennes mobiles (sauf stations mobiles aéronautiques)

Pour établir s'il y a lieu de procéder à une coordination pour une station terrienne mobile (autre qu'une station mobile aéronautique), il est nécessaire de déterminer la zone de coordination qui engloberait toutes les zones de coordination relatives à chaque emplacement à l'intérieur de la zone de service dans laquelle on envisage d'exploiter des stations terriennes mobiles.

On peut utiliser la méthode précédente à cette fin en déterminant les contours de coordination individuels appropriés pour un nombre suffisamment élevé d'emplacements, à l'intérieur et à la périphérie de la zone de service proposée et en déterminant à partir de ces contours une zone de coordination composite qui englobe toutes les zones de coordination individuelles possibles.

Lorsqu'on détermine la zone de coordination pour une zone géographique où doivent être installées des stations terriennes du service mobile, il suffit généralement de sélectionner quelques points sur la périphérie de la zone géographique et de construire une enveloppe des contours de coordination en reliant ces points par des lignes droites sur la carte utilisée. L'enveloppe en lignes droites constitue le contour de coordination effectif.

10. Stations terriennes transportables

Si l'on veut faire fonctionner une station terrienne transportable sur la base d'une zone, la méthode décrite ci-dessus pour les stations terriennes du service mobile (à l'exception du service mobile aéronautique) s'applique pour la détermination de la zone de coordination de la station terrienne transportable.

11. Révision des données relatives à la propagation

Les renseignements donnés dans la présente Annexe sont fondés, directement ou indirectement, sur des données de propagation rassemblées, interprétées et illustrées dans d'autres textes de l'UIT-R. Ces renseignements sont présentés sous une forme analogue à l'Appendice 28 du Règlement des radiocommunications en vue d'une révision ultérieure conformément à la Résolution N° 60 de la CAMR-79. Les connaissances en matière de propagation sont sujettes à modifications, au fur et à mesure que l'on dispose de données nouvelles et plus fiables; ces modifications peuvent impliquer ou suggérer fortement que l'on apporte les amendements correspondant aux données relatives à la propagation, fournies dans la présente Annexe, en se fondant sur les résultats obtenus par l'UIT-R.

APPENDICE 1
DE L'ANNEXE 1

**Gain d'antenne en direction de l'horizon de la station terrienne
pour les satellites géostationnaires**

1. Généralités

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

Lorsqu'un satellite géostationnaire maintient son emplacement près de sa position nominale en orbite, il existe une relation univoque entre l'angle d'élévation ε et l'azimut α des satellites géostationnaires vus d'une station terrienne qui se trouve à la latitude ζ . La Fig. 2 présente, dans un diagramme rectangulaire élévation/azimut, les portions d'arc possibles de l'orbite des satellites géostationnaires. Chaque arc correspond à une série de latitudes de station terrienne et les arcs d'intersection correspondent à des points sur l'orbite avec une différence fixe en longitude est ou ouest de la station terrienne. La Fig. 2 montre également une portion du profil d'horizon $\varepsilon(\alpha)$. L'angle de décalage de faisceau $\varphi(\alpha)$ entre le profil d'horizon à un azimut de 190° et une station spatiale située à 28° O d'une station terrienne à 43° de latitude N est indiqué par l'arc de grand cercle représenté en tirets sur la Fig. 2.

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

La courbe de délimitation utilisée pour déterminer l'angle minimal de décalage du faisceau devrait être fondée sur l'inclinaison maximale de l'orbite qui sera admise au cours de la vie utile des stations spatiales sur cette portion de l'orbite géostationnaire. L'utilisation de l'enveloppe de délimitation simplifie le calcul de l'angle minimal de décalage. Il n'est pas nécessaire, pour cela, de connaître les valeurs spécifiques de l'emplacement des stations spatiales sur l'arc. Il est possible que l'on ne connaisse pas à l'avance les positions exactes des stations, de sorte que certaines stations spatiales pourront nécessiter un repositionnement ultérieur.

2. Détermination de $\varphi(\alpha)$

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

$$\psi_s(i, \delta) = \arccos(\sin \zeta \sin i + \cos \zeta \cos i \cos \delta) \quad (19)$$

$$\varepsilon_s(i, \delta) = \arcsin \left[\frac{K \cos \psi_s(i, \delta) - 1}{(1 + K^2 - 2K \cos \psi_s(i, \delta))^{1/2}} \right] \quad (20)$$

$$\alpha'_s(i, \delta) = \arccos \left[\frac{\sin i - \cos \psi_s \sin \zeta}{\sin \psi_s \cos \zeta} \right] \quad (21)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{pour les stations spatiales situées à l'est de la station terrienne } (\delta \geq 0) \quad (22)$$

$$\alpha_s(i, \delta) = 360^\circ - \alpha'_s(i, \delta) \quad \text{pour les stations spatiales situées à l'ouest de la station terrienne } (\delta \leq 0) \quad (23)$$

$$\varphi(\alpha, i, \delta) = \arccos [\cos \varepsilon(\alpha) \cos \varepsilon_s(i, \delta) \cos (\alpha - \alpha_s(i, \delta)) + \sin \varepsilon(\alpha) \sin \varepsilon_s(i, \delta)] \quad (24)$$

où:

ζ : latitude de la station terrienne (positive pour le nord, négative pour le sud)

δ : différence en longitude de la station terrienne à la station spatiale

i : latitude du point subsatellite (positive pour le nord et négative pour le sud)

$\psi_s(i, \delta)$: arc de grand cercle entre la station terrienne et le point subsatellite

$\alpha_s(i, \delta)$: azimut de la station spatiale vue de la station terrienne

$\varepsilon_s(i, \delta)$: angle d'élévation de la station spatiale vue de la station terrienne

$\varphi(\alpha, i, \delta)$: angle de décalage entre le faisceau principal et la direction de l'horizon, correspondant à l'angle pertinent α lorsque le faisceau principal est dirigé vers une station spatiale dont le point subsatellite correspond à la latitude i et à la différence en longitude δ

α : azimut de la direction considérée

ε : angle d'élévation de l'horizon dans l'azimut α considéré

$\varphi(\alpha)$: angle à utiliser pour le calcul du gain vers l'horizon dans l'azimut α considéré

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

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

Cas 1 : Station spatiale unique sur une orbite non inclinée

Pour une station spatiale unique opérant sur orbite non inclinée et présentant une différence en longitude δ_0 , on peut appliquer directement les équations (19) à (24) en prenant $i = 0$ pour déterminer pour chaque azimut α l'angle $\varphi(\alpha)$. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\alpha, 0, \delta_0) \quad (25)$$

où:

δ_0 : différence en longitude de la station terrienne à la station spatiale.

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

Pour les stations spatiales opérant sur une orbite non inclinée dans une portion de l'arc géostationnaire, on peut appliquer les équations (19) à (24) en prenant $i = 0$ pour déterminer la valeur minimale de l'angle de décalage du faisceau. Pour chaque azimut α , l'angle $\varphi(\alpha)$ sera la valeur minimale de $\varphi(\alpha, 0, \delta)$ pour toute position le long de l'arc. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min_{\delta_w \leq \delta \leq \delta_e} \varphi(\alpha, 0, \delta) \quad (26)$$

où:

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

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

FIGURE 2
Arcs de position des satellites géostationnaires par rapport à l'horizon et arc vu à partir de l'horizon
dans un azimut de 190° vers un satellite situé à 28° ouest d'une station terrienne située à 43° de latitude nord

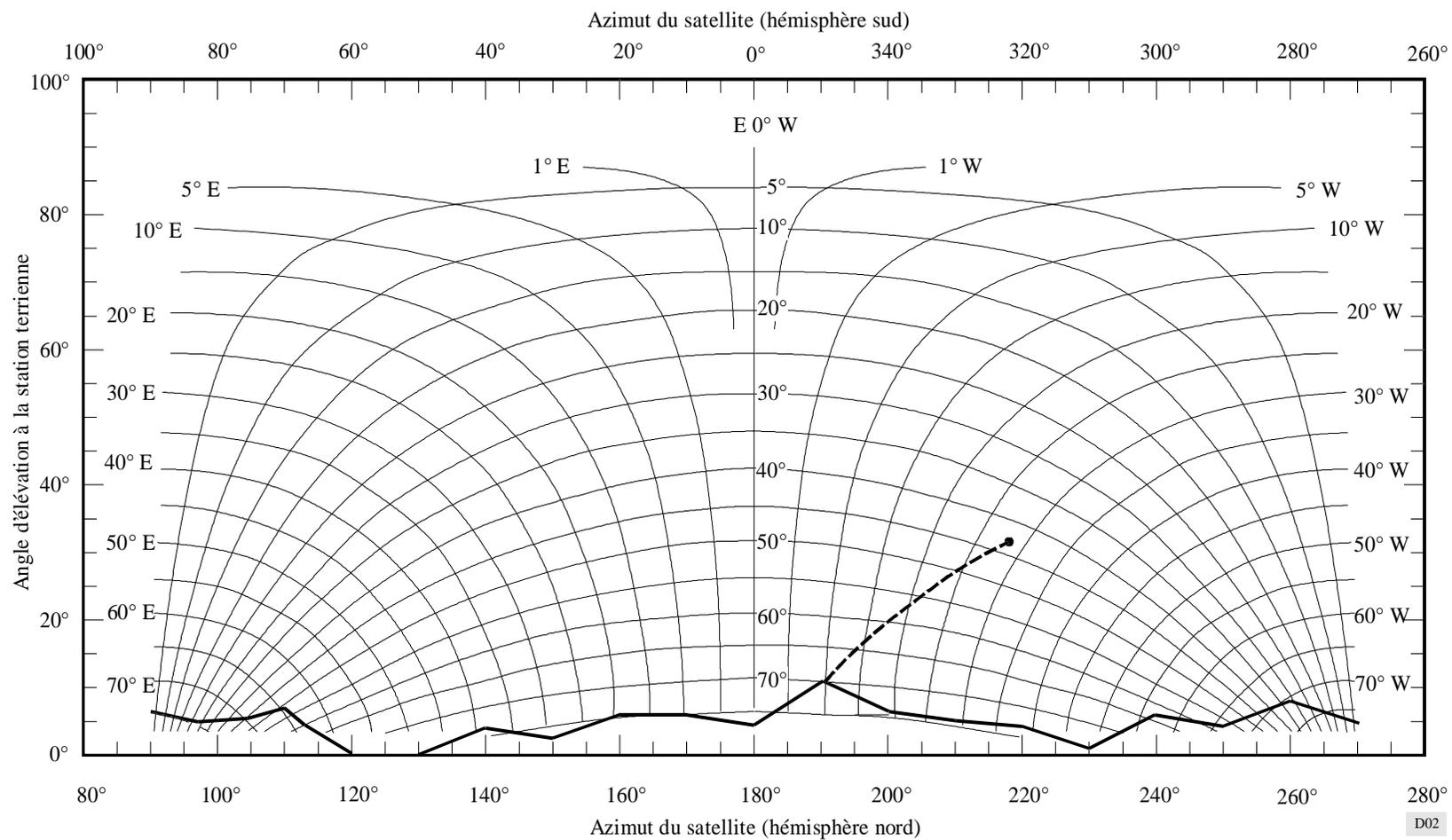
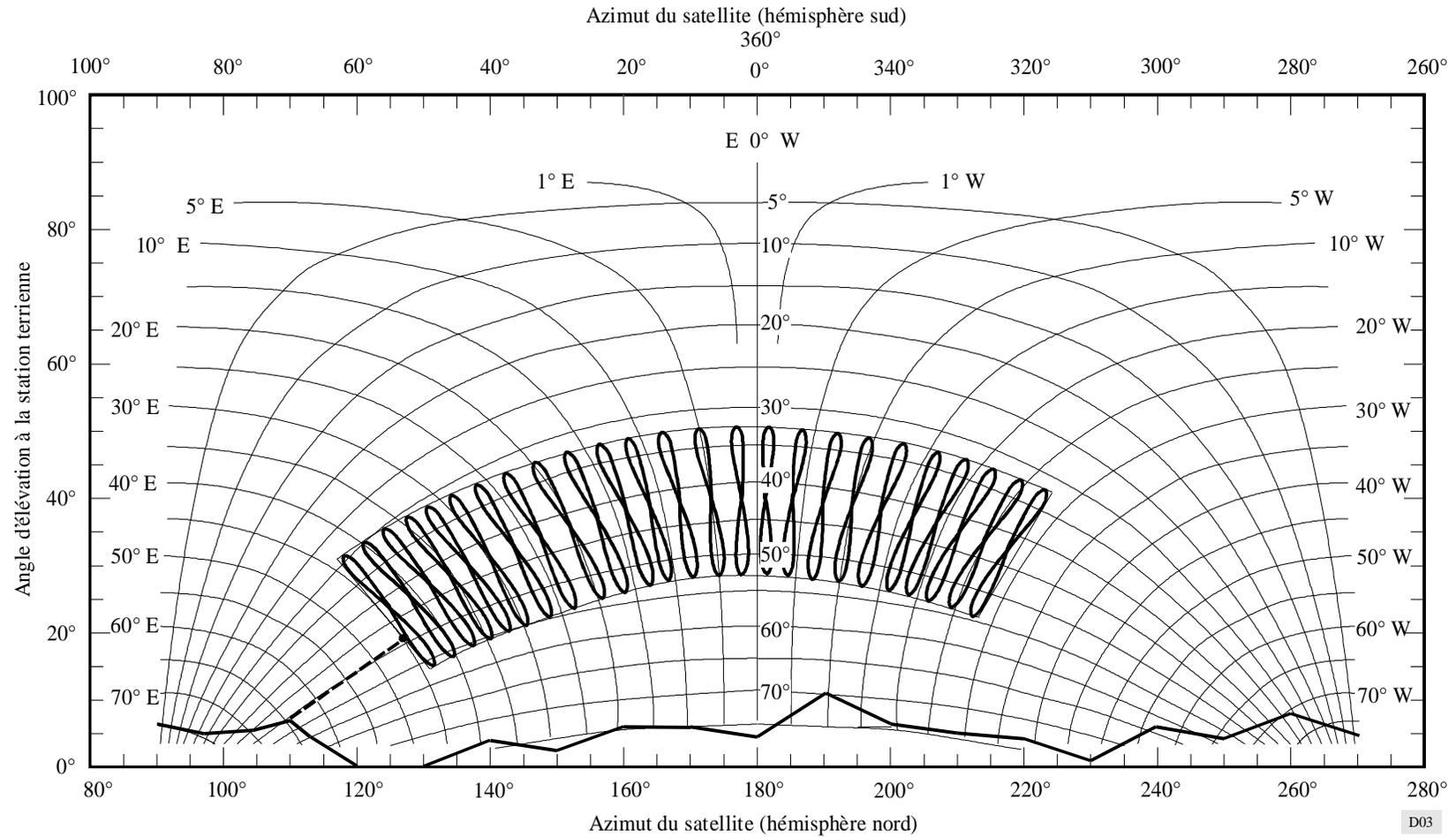


FIGURE 3

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



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

Pour les stations spatiales opérant sur des orbites légèrement inclinées dans une portion de l'arc géostationnaire présentant une différence nominale en longitude comprise entre δ_e et δ_w , il faut prendre en compte l'inclinaison maximale de l'orbite pendant leur vie utile, i_s . On peut appliquer les équations (19) à (24) pour obtenir la valeur minimale de l'angle de décalage par rapport à chacun des quatre arcs dans l'espace azimut/élévation qui délimite aussi bien en angle qu'en élévation la trajectoire de la station spatiale. Les arcs de délimitation correspondent aux latitudes maximales et minimales des points subsatellites et aux valeurs extrêmes de la différence en longitude entre station terrienne et station spatiale lorsque la station spatiale fonctionne à son maximum d'inclinaison. Ainsi:

$$\varphi(\alpha) = \min_{n = 1 \text{ à } 4} \varphi_n(\alpha) \quad (27)$$

avec:

$$\varphi_1(\alpha) = \min_{\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s} \varphi(\alpha, -i_s, \delta) \quad (28)$$

$$\varphi_2(\alpha) = \min_{\delta_w - \delta_s \leq \delta \leq \delta_e + \delta_s} \varphi(\alpha, i_s, \delta) \quad (29)$$

$$\varphi_3(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_w - \delta_s) \quad (30)$$

$$\varphi_4(\alpha) = \min_{-i_s \leq i \leq i_s} \varphi(\alpha, i, \delta_e + \delta_s) \quad (31)$$

$$\delta_s = (i_s / 15)^2 \quad (32)$$

où:

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

δ_s : variation maximale en longitude par rapport à la valeur nominale de la projection sur la surface de la Terre d'un satellite sur une orbite d'inclinaison i_{s1} .

Cas 4 : Station spatiale unique sur orbite inclinée

Pour une station spatiale unique opérant avec une différence nominale en longitude de δ_0 , sur une orbite d'inclinaison maximale i_s pendant sa durée de vie, la valeur de $\varphi(\alpha)$ se détermine de la même façon que dans le Cas 3, sauf que $\delta_e = \delta_w = \delta_0$.

Noter que l'on peut déterminer les angles de décalage minimaux dans les équations (26), (28), (29), (30) et (31) en progressant par échelons le long d'un contour de délimitation. Le pas de progression de i ou de δ devrait se situer entre $0,5^\circ$ et $1,0^\circ$ et les points extrêmes des étendues respectives devraient être inclus dans le calcul.

Noter que le profil d'horizon $\varepsilon(\alpha)$ utilisé dans le calcul de $\varphi(\alpha)$ doit être spécifié pour des échelons de progression dans l'azimut α qui ne devraient pas dépasser 5° .

3. Détermination du gain d'antenne

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

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{pour } 0 < \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \text{pour } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log \varphi & \text{pour } \varphi_r \leq \varphi < 36^\circ \\ -10 & \text{pour } 36^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (33)$$

où:

D : diamètre de l'antenne }
 λ : longueur d'onde } exprimés dans la même unité

G_1 : gain du premier lobe latéral

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

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

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

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

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

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

où:

G_{max} : gain du lobe principal de l'antenne (dB).

Il convient de noter que les équations ci-dessus peuvent être différentes de celles données dans la Recommandation UIT-R S.465.

APPENDICE 2 DE L'ANNEXE 1

Calcul des contours pour le Mode de propagation 2

La valeur de d_r , distance entre la région de diffusion maximale et l'emplacement d'une station de Terre sur le contour de coordination pour ce mode de propagation, peut s'obtenir par un calcul itératif en utilisant l'algorithme fourni dans le présent Appendice.

L'équation de base pour l'affaiblissement de transmission imputable à la diffusion par hydrométéores s'exprime comme suit:

$$L_2 = 168 + 20 \log d_r - 20 \log f - 13,2 \log R - G_T + 10 \log A_b - 10 \log C + \Gamma + H + \beta_o d_o + \beta_v d_v \quad \text{dB} \quad (34)$$

Déterminer des valeurs appropriées pour les paramètres suivants:

- R : taux de précipitation en surface (mm/h) pendant un pourcentage de temps, p , indiqué dans l'Appendice 3 pour diverses zones hydrométéorologiques
- k et α , pour la fréquence appropriée, tels qu'ils figurent dans le Tableau 6 (il convient d'utiliser une interpolation logarithmique pour les valeurs de k situées entre les fréquences indiquées, et une interpolation linéaire pour les valeurs de α).

Supposons que:

$$G_T = 42 + \Delta G \text{ dBi (gain d'antenne théorique admis pour la station de Terre)}$$

et calculons:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad \text{dB} \quad (35)$$

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad \text{km} \quad (36)$$

$$C = \begin{cases} \frac{2,17}{\gamma_R d_s} (1 - 10^{-\gamma_R d_s / 5}) & \text{dB pour } f > 4 \text{ GHz} \\ 1 & \text{dB pour } f \leq 4 \text{ GHz} \end{cases} \quad (37)$$

$$\Gamma = \frac{631 \gamma_R}{\sqrt{R}} 10^{-(R+1)^{0,19}} \quad \text{dB} \quad (38)$$

$$h_{FR} = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} 5 - 0,075 (\zeta - 23) \quad \text{km pour } \zeta > 23^\circ \\ 5 \quad \text{km pour } 0^\circ \leq \zeta \leq 23^\circ \end{array} \right\} \text{Hémisphère nord} & (39a) \\ \left. \begin{array}{l} 5 \quad \text{km pour } 0^\circ \geq \zeta \geq -21^\circ \\ 5 + 0,1 (\zeta + 21) \quad \text{km pour } -71^\circ < \zeta \leq -21^\circ \\ 0 \quad \text{km pour } \zeta \leq -71^\circ \end{array} \right\} \text{Hémisphère sud} & (39b) \\ & (39c) \\ & (39d) \\ & (39e) \end{cases}$$

où h_{FR} est exprimé en km et où ζ est la latitude en degrés.

Supposons que:

$$x = 168 - 20 \log f - 13,2 \log R - G_T - 10 \log C + \Gamma - L_2 \quad (40)$$

où:

L_2 : affaiblissement de transmission connu (voir l'Annexe 1, § 4).

L'équation pour l'affaiblissement linéique imputable aux gaz, β_o (pour l'oxygène) et β_v (pour la vapeur d'eau) est indiquée dans les équations (13) et (14). L'affaiblissement linéique imputable à la vapeur d'eau β_v doit être calculé pour une valeur supposée de la densité de vapeur d'eau $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$.

La distance maximale de diffusion par les hydrométéores d_{m2} s'exprime comme suit:

$$d_{m2} = \sqrt{17\,000 (h_{FR} + 3)} \quad \text{km} \quad (41)$$

Il convient ensuite d'évaluer les formules suivantes pour obtenir la base nécessaire au calcul itératif:

$$h_{cv} = \frac{(d_r - 40)^2}{17\,000} \quad \text{km} \quad (42)$$

$$H = \begin{cases} 6,5(h_{cv} - h_{FR}) & \text{dB pour } h_{cv} > h_{FR} \\ 0 & \text{dB pour } h_{cv} \leq h_{FR} \end{cases} \quad (43)$$

$$10 \log A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{dB pour } \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ GHz} < f \leq 60 \text{ GHz} \\ \text{et } h_{cv} < h_{FR} \end{array} \right\} \\ 0 & \text{dB pour } \left\{ \begin{array}{l} f \leq 10 \text{ GHz} \\ \text{ou } h_{cv} \geq h_{FR} \end{array} \right\} \end{cases} \quad (44)$$

$$d_o = \begin{cases} 0,7 d_r + 32 & \text{km pour } d_r < 340 \text{ km} \\ 270 & \text{km pour } d_r \geq 340 \text{ km} \end{cases} \quad (45)$$

$$d_v = \begin{cases} 0,7 d_r + 32 & \text{km pour } d_r < 240 \text{ km} \\ 200 & \text{km pour } d_r \geq 240 \text{ km} \end{cases} \quad (46)$$

$$Y = x + 20 \log d_r + 10 \log A_b + H + \beta_o d_o + \beta_v d_v \quad \text{dB} \quad (47)$$

La valeur nécessaire de d_r est telle que $Y = 0$

TABLEAU 6

Valeurs de k et de α en fonction de la fréquence

Fréquence (GHz)	k	α
1	0,000 0352	0,880
2	0,000 138	0,923
4	0,000 591	1,075
6	0,001 55	1,265
7	0,002 65	1,312
8	0,003 95	1,31
10	0,008 87	1,264
12	0,016 8	1,20
14	0,029	1,15
18	0,055	1,09
20	0,069 1	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
45	0,393	0,897
50	0,479	0,868
60	0,642	0,824

Note 1 – Y est une fonction de d_r croissant de façon monotone. Il est donc possible d'utiliser une méthode d'itération simple, par exemple une bissection.

En résumé, la valeur de d_r peut s'obtenir comme suit:

Calculer Y pour $d_r = 100$ km, $Y(100$ km)

Si $Y(100$ km) ≥ 0 , prendre $d_r = 100$ km pour la coordination

Ou alors calculer Y pour $d_r = d_{m2}$, $Y(d_{m2})$

Si $Y(d_{m2}) \leq 0$, prendre $d_r = d_{m2}$ pour la coordination

Si aucune de ces valeurs d_r ne peut être utilisée pour la coordination, il convient de trouver la valeur appropriée de d_r en appliquant les équations (42) à (47) selon une procédure itérative. Les valeurs limites initiales seront $d_r = 100$ km et $d_r = d_{m2}$.

Le contour de coordination en cas de diffusion par hydrométéores est délimité par un cercle dont le rayon serait la plus petite des deux distances d_r et d_{m2} , désignée $\text{Min}[d_r, d_{m2}]$ et centrée sur un point décalé d'une distance Δd (km) par rapport à la station terrienne le long de l'azimut du faisceau principal pointé vers le satellite et qui s'obtient en appliquant l'équation suivante:

$$\Delta d = \frac{\left(\text{Min} [d_r, d_{m2}] - 40 \right)^2 \cotg \varepsilon_s}{17\,000} \quad \text{km}^* \quad (48)$$

où ε_s est l'angle d'élévation vers le satellite (degrés).

La distance de la station terrienne à ce cercle ou 100 km mesurés à partir de la station terrienne, selon la valeur la plus grande, sera la distance de coordination d_2 pour la diffusion par hydrométéores.

Pour une station terrienne destinée à opérer avec un satellite géostationnaire sur orbite légèrement inclinée, le contour de coordination en diffusion par hydrométéores, pour chacune des deux positions d'orbite les plus inclinées du satellite, devrait être déterminé individuellement au moyen des angles d'élévation pertinents et de leurs azimuts en direction du satellite correspondants. La zone de diffusion par hydrométéores sera alors la zone totale circonscrite par les deux contours de coordination partiellement superposés qui en résultent.

* Lorsque exceptionnellement, les angles d'élévation utilisés vers le satellite sont inférieurs à 3° , Δd doit être calculé à partir de la formule suivante:

$$\Delta d = \text{Min} [d_r - 40, (d_r - 40)^2 \cotg \varepsilon_s / 17\,000].$$

Pour une station terrienne destinée à opérer avec des satellites occupant différentes positions sur l'orbite, les contours de coordination en diffusion par hydrométéores devraient être déterminés individuellement pour l'emplacement sur l'orbite le plus à l'est et l'emplacement sur l'orbite le plus à l'ouest. La zone de diffusion par hydrométéores sera alors la zone totale circonscrite par les deux contours de coordination partiellement superposés qui en résultent.

APPENDICE 3
DE L'ANNEXE 1

Classification des zones hydrométéorologiques

Dans les Fig. 4, 5 et 6, le monde est divisé en plusieurs zones hydrométéorologiques qui diffèrent les unes des autres du point de vue des caractéristiques des précipitations. Les courbes de la Fig. 7 indiquent la distribution composite du taux de précipitation; chacune de ces courbes est applicable à plusieurs des climats hydrométéorologiques des Fig. 4 à 6. Pour calculer la courbe de la Fig. 7, il y a lieu d'étendre les distributions au-delà de 0,3% jusqu'aux pourcentages supérieurs de temps p_c auxquels le taux de précipitation est censé approcher de zéro, à l'aide de la formule:

$$R(p) = R(0,3\%) \left[\frac{\log(p_c / p)}{\log(p_c / 0,3)} \right]^2 \quad \text{mm/h} \quad (49)$$

dans laquelle on utilisera, pour $R(0,3\%)$ et p_c les valeurs suivantes:

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

Cette méthode convient pour l'évaluation numérique de la distance de diffusion par les hydrométéores.

Les répartitions des taux de précipitation de la Fig. 7 sont approchées numériquement par les formules suivantes:

Climats A, B

$$R = 1,1 p^{-0,465} + 0,25 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] - \left[\left| \log(p / 0,1) \right| + 1,1 \right]^{-2} \quad \text{mm/h} \quad (50)$$

Climats C, D, E

$$R = 2 p^{-0,466} + 0,5 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (51)$$

Climats F, G, H, J, K

$$R = 4,17 p^{-0,418} + 1,6 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (52)$$

Climats L, M

$$R = 4,9 p^{-0,48} + 6,5 \left[\log(p / 0,001) \log^2(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (53)$$

Climats N, P, Q

$$R = 15,6 \left(p^{-0,383} + \left[\log(p / 0,001) \log^{1,5}(0,3 / p) \right] \right) \quad \text{mm/h} \quad (54)$$

pour la plage $0,001 \leq p \leq 0,3\%$.

FIGURE 4
Zones hydrométéorologiques (voir le Tableau 7)

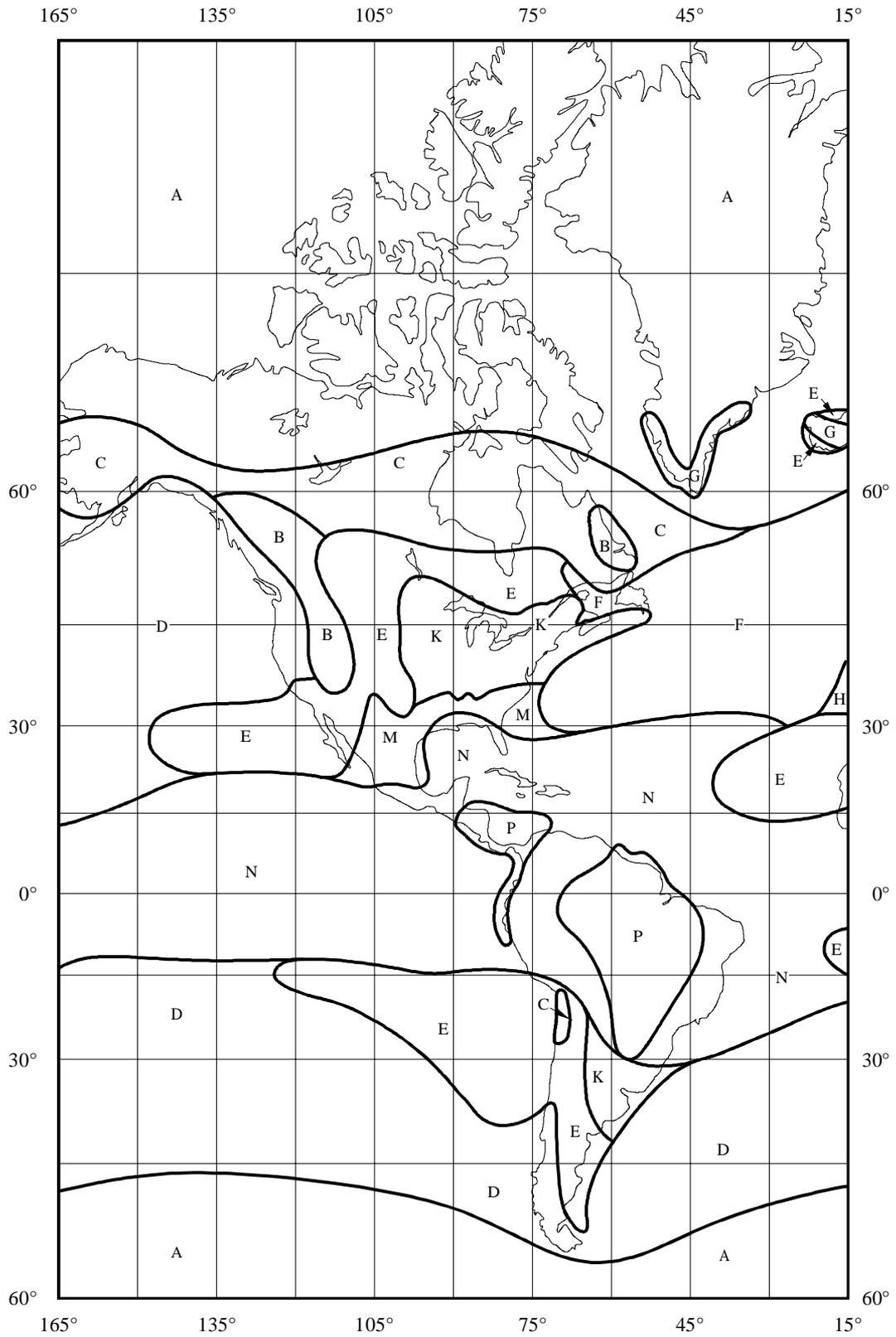


FIGURE 5
Zones hydrométéorologiques (voir le Tableau 7)

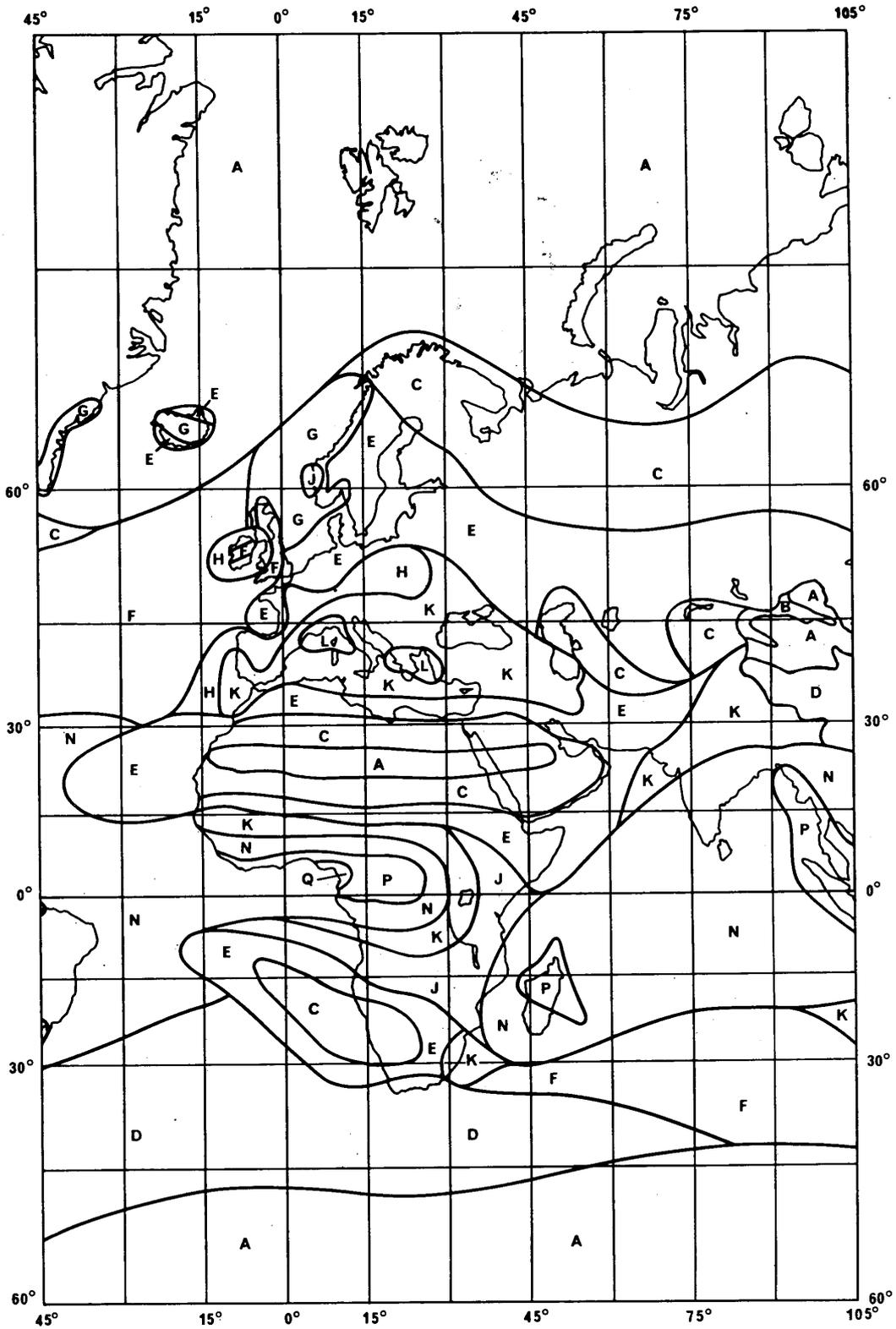


FIGURE 6
Zones hydrométéorologiques (voir le Tableau 7)

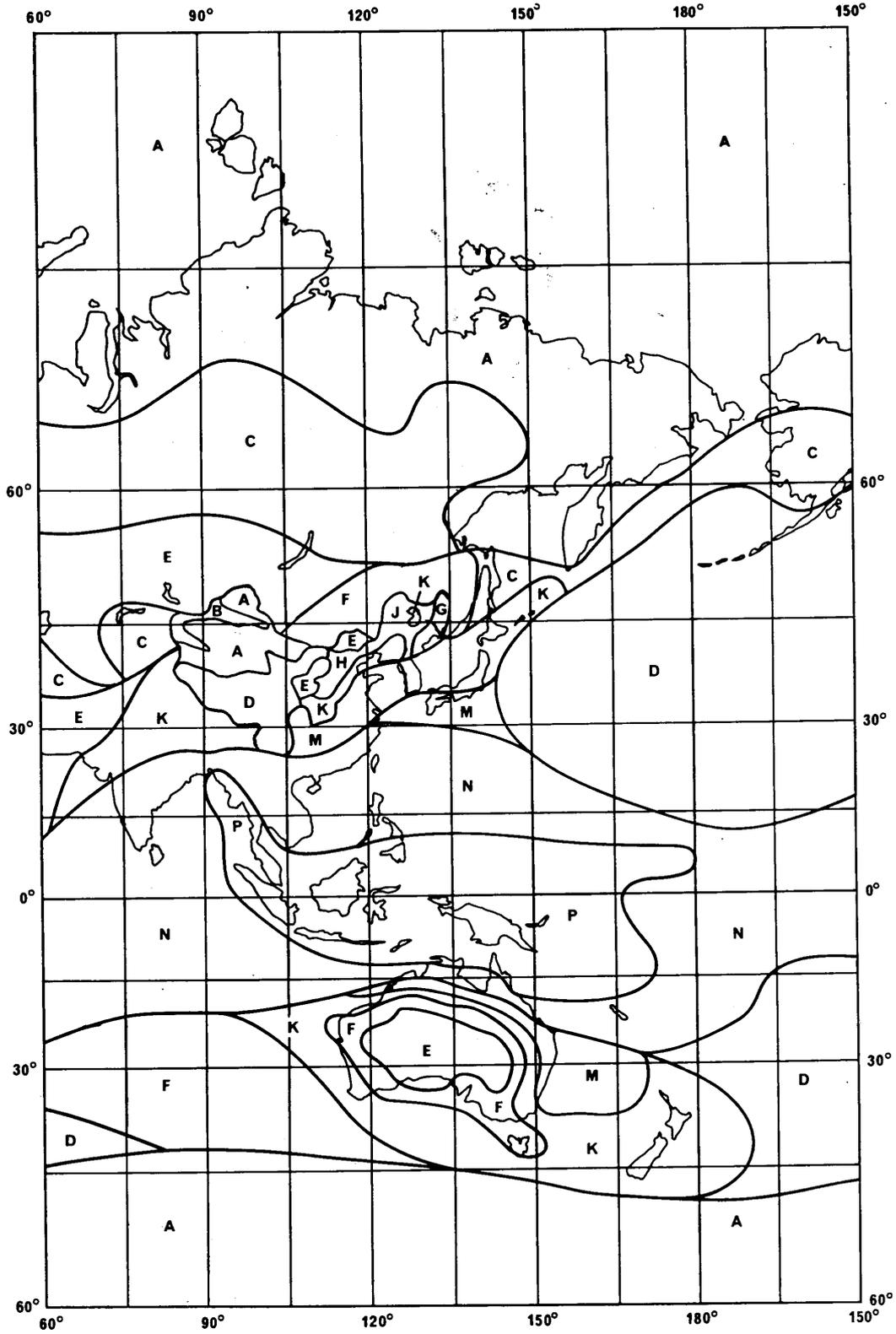


TABLEAU 7

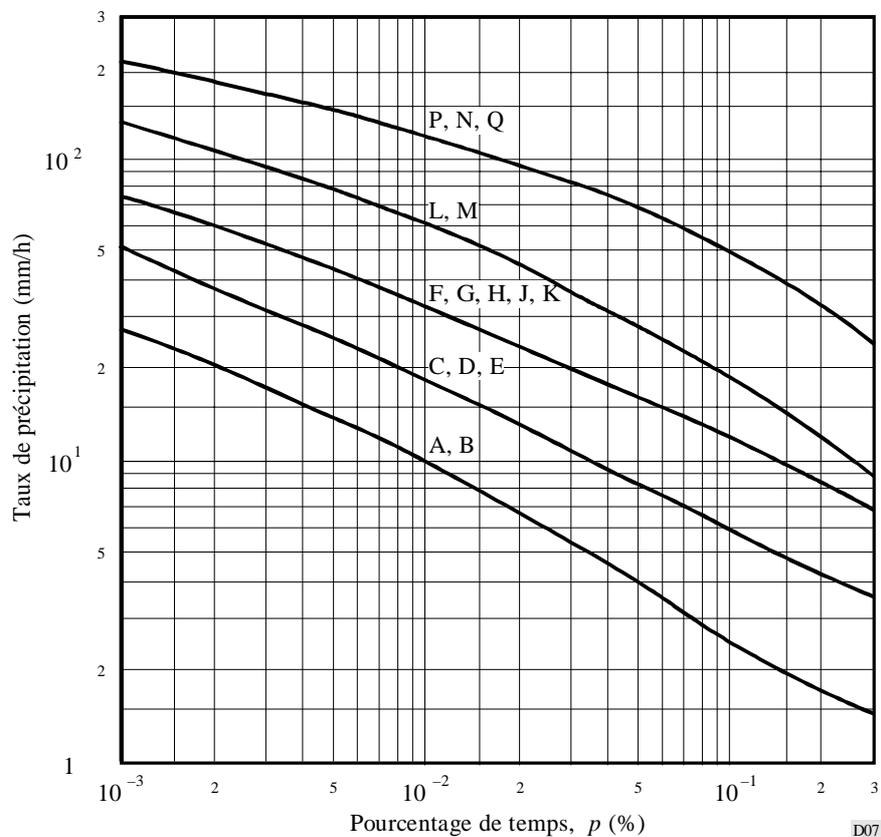
Zones hydrométéorologiques

Dépassement du taux de précipitation (mm/h) (Référence aux Fig. 4 à 6)

Pourcentage de temps (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	< 0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,5	2,0	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	13	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	23	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	23	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

FIGURE 7

Distributions cumulatives composites des taux de précipitation pour les zones hydrométéorologiques des Fig. 4 à 6



D07