

## RECOMMANDATION UIT-R P.620-6\*

**Données sur la propagation nécessaires au calcul des distances de coordination dans la gamme de fréquences 100 MHz à 105 GHz**

(Question UIT-R 208/3)

(1986-1992-1995-1997-1999-2003-2005)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la zone de coordination est la zone entourant une station terrienne, telle que tout brouillage entre cette station terrienne et les stations de Terre situées à l'extérieur de cette zone peut être considéré comme négligeable;
- b) que la détermination de la zone de coordination devrait être fondée sur les meilleures données de propagation disponibles et être effectuée avec prudence;
- c) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a approuvé une révision de l'Appendice 7 du Règlement des radiocommunications (ultérieurement modifiée par la CMR-03) fondée sur la Recommandation UIT-R SM.1448 qui s'appuie elle-même sur la Recommandation UIT-R P.620 pour la gamme de fréquences comprises entre 100 MHz et 105 GHz;
- d) que la Résolution 74 (CMR-03) décrit un processus permettant de maintenir à jour les bases techniques figurant dans l'Appendice 7,

*recommande*

**1** aux administrations d'utiliser, pour déterminer la zone de coordination, dans le cas des fréquences supérieures à 100 MHz, les méthodes de calcul de la propagation exposées dans l'Annexe 1.

## Annexe 1

### 1 Introduction

La présente Annexe définit des données de propagation à utiliser dans le calcul de la distance de coordination, ainsi qu'une méthode simple pour évaluer les facteurs de propagation intervenant dans la détermination des distances de coordination.

La zone de coordination est la zone à l'extérieur de laquelle le brouillage, entre une station terrienne et des stations de Terre (ou entre des stations terriennes fonctionnant dans les deux sens de transmission) exploitées dans les conditions prudentes spécifiées ailleurs, peut être considéré comme négligeable. Dans la présente Recommandation, les mots stations de Terre peuvent

---

\* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention de la Commission d'études 1 des radiocommunications.

également désigner des stations terriennes fonctionnant dans les deux sens de transmission. Pour déterminer la distance de coordination, il est donc indispensable de comparer l'affaiblissement de transmission requis (affaiblissement de propagation minimal admissible,  $L_b(p)$  (dB), non dépassé pendant un pourcentage de temps annuel moyen  $p$ ) que spécifient les modèles du système et du brouillage avec l'affaiblissement de transmission dû au milieu de propagation. La distance de coordination requise est celle pour laquelle ces deux affaiblissements deviennent égaux.

La présente Recommandation fournit plusieurs modèles de propagation pour différentes gammes de fréquences et différents mécanismes de propagation. Ces modèles permettent de prévoir l'affaiblissement de propagation en fonction de la distance. On détermine les distances de coordination en calculant l'affaiblissement de propagation par itération en fonction de la distance jusqu'à obtenir l'affaiblissement de transmission requis ou atteindre une distance limite.

Il est important de noter que la zone de coordination ne représente pas une zone à l'intérieur de laquelle le partage de fréquences est exclu entre la station terrienne et la station de Terre. Un tel partage s'avère souvent possible et la zone de coordination aide à le mettre en œuvre en indiquant où il faut évaluer, en procédant à une analyse détaillée sur la base des Recommandations UIT-R pertinentes, le brouillage potentiel entre la station terrienne et des stations de Terre.

En plus de la méthode de calcul du contour de coordination, la présente Recommandation fournit également des renseignements qui permettent de préparer des contours auxiliaires pour faciliter l'élimination rapide de la majorité des cas de brouillage potentiel au cours de l'analyse de la coordination concernant des stations de Terre situées à l'intérieur du contour de coordination.

## 2 Structure de la Recommandation

La structure de la Recommandation est la suivante:

Annexe 1:	Méthode générale de détermination de la zone de coordination
Appendice 1 à l'Annexe 1:	Définition des paramètres d'entrée
Appendices 2 et 3 à l'Annexe 1:	Formules nécessaires au calcul des contours de coordination
Appendice 4 à l'Annexe 1:	Diagramme de rayonnement de référence pour antennes de faisceaux hertziens en visibilité directe
Appendice 5 à l'Annexe 1:	Définition de tous les paramètres

## 3 Considérations générales

### 3.1 Hypothèses

Pour déterminer les caractéristiques de la propagation nécessaires à l'évaluation de la distance de coordination relative à une station terrienne, on part ici des hypothèses suivantes:

- les emplacements des stations de Terre avec lesquelles la coordination doit être faite ne sont pas connus;
- en ce qui concerne les relations géométriques du trajet de brouillage, on ne possède de renseignements que sur la station terrienne;
- en ce qui concerne les relations géométriques pour le reste du trajet de brouillage, il faut faire des hypothèses limitatives prudentes, comme indiqué dans le texte qui suit.

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

- *mode (1)*: phénomènes de propagation en atmosphère claire:
  - influencés par la présence de la surface de la Terre (diffraction, réfraction, propagation guidée et de la réflexion ou de la diffraction sur des couches); et
  - par la diffusion troposphérique. Ces phénomènes intéressent uniquement la propagation dans le plan du grand cercle;
- *mode (2)*: diffusion par les hydrométéores, qui n'est pas limitée au plan du grand cercle mais qui, dans le cadre de la présente Annexe, est limitée aux stations terriennes exploitées avec des satellites géostationnaires.

Pour chaque azimut à partir de la station terrienne et pour chacun de ces deux modes de propagation, il est nécessaire de déterminer une distance pour laquelle l'affaiblissement de transmission est égal à l'affaiblissement de transmission de base minimale admissible. Cette distance (distance de coordination) sera la plus grande des deux distances calculées.

On peut toujours utiliser un pas constant pour la méthode d'itération (on recommande un pas de 1 km). En mode (1), les fonctions définissant l'affaiblissement de propagation varient de façon monotone avec la distance et on pourra, si on le souhaite, utiliser une méthode d'itération plus efficace.

### 3.2 Aperçu des modèles de propagation

Pour déterminer les distances de coordination en mode de propagation (1), on a subdivisé la gamme de fréquences applicable en trois parties:

- pour les fréquences de la bande d'ondes métriques et décimétriques comprises entre 100 MHz et 790 MHz, le modèle est fondé sur un ajustement empirique à des données mesurées;
- pour la gamme 790 MHz-60 GHz, on utilise un modèle de propagation tenant compte de la diffusion troposphérique, de la propagation guidée et de la réflexion/réfraction sur des couches;
- pour la gamme 60-105 GHz, on utilise un modèle millimétrique fondé sur l'affaiblissement en espace libre et sur une estimation prudente de l'absorption par les gaz, avec une tolérance pour les renforcements des signaux pour de faibles pourcentages de temps.

En général, les gammes de paramètres d'entrée diffèrent selon les mécanismes du modèle en mode de propagation (1).

Pour déterminer les distances de coordination en mode de propagation (2), on modélise la diffusion isotrope par les hydrométéores à l'intérieur du volume commun formé par les faisceaux principaux des stations susceptibles de causer des brouillages. Pour la coordination des fréquences au-dessous de 1 GHz et au-dessus de 40,5 GHz, on peut faire abstraction des brouillages causés par la diffusion par les hydrométéores. Aux fréquences inférieures à 1 GHz, le niveau du signal diffusé est très faible et au-dessus de 40,5 GHz, le signal diffusé s'affaiblit fortement sur le trajet allant du volume de diffusion à la station de Terre, malgré des phénomènes de diffusion intenses.

En mode (1), on incrémente la distance à partir d'une valeur minimale déterminée en fonction de facteurs de propagation propres à chaque gamme de fréquences. En mode (2), on diminue la distance à partir d'une valeur maximale indiquée dans le Tableau 2. En mode auxiliaire (2), on diminue la distance à partir de la distance de coordination maximale du mode (2) pour le même azimut.

L'affaiblissement dû à l'effet d'écran du terrain autour d'une station terrienne doit être calculé à l'aide de la méthode décrite au § 1 de l'Appendice 2, en fonction des angles d'élévation de l'horizon le long de chaque trajet radial à partir de la station terrienne. Pour toutes les fréquences comprises entre 100 MHz et 105 GHz, il faut tenir compte de cet affaiblissement supplémentaire.

## 4 Renseignements radioclimatiques

### 4.1 Données radioclimatiques

Pour calculer la distance de coordination dans le cas du mode de propagation (1), on a divisé la Terre en zones radioclimatiques (voir le § 4.2) et en fonction d'un paramètre radiométéorologique,  $\beta_p$ , qui représente l'incidence relative des conditions anormales de propagation par temps clair.

La valeur de  $\beta_p$  dépend de la latitude. La latitude à utiliser pour déterminer la valeur correcte de  $\beta_p$  est donnée par la relation:

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1,8 & \text{pour } |\zeta| > 1,8^\circ \\ 0 & \text{pour } |\zeta| \leq 1,8^\circ \end{cases} \quad (1a)$$

$$\quad \quad \quad (1b)$$

où  $\zeta$  est la latitude de la station terrienne (degrés).

$\beta_p$  est alors déterminé par la relation:

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{1,67-0,015\zeta_r} & \text{pour } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 4,17 & \text{pour } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (2a)$$

$$\quad \quad \quad (2b)$$

Aux fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz, on utilise le coïndice au niveau de la mer à mi-trajet,  $N_0$ , pour les calculs en mode de propagation (1), qui a pour expression:

$$N_0 = 330 + 62,6 e^{-\left(\frac{\zeta-2}{32,7}\right)^2} \quad (3)$$

### 4.2 Zones radioclimatiques

Pour calculer la distance de coordination en mode de propagation (1), on a divisé 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 la Zone B ou à la Zone C (voir ci-dessous), 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, selon le cas. Lorsqu'on ne dispose pas de données précises sur le contour de 100 m, on pourra utiliser une valeur approchée (par exemple 300 pieds);
- *Zone A2*: toutes les terres, autres que les zones côtières et littorales visées dans la Zone A1 ci-dessus;
- *Zone B*: mers, océans et 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 vastes étendues d'eau chaude situés à des latitudes inférieures à 30°, mer Méditerranée et mer Noire comprises.

Les paramètres de distance dans ces zones nécessaires dans les différents modèles de fréquence sont les suivants:

- $d_{lm}$  (km): distance à l'intérieur des terres continue la plus longue, Zone A2, comprise dans la distance courante du trajet;
- $d_{lm}$  (km): distance terrestre continue la plus longue (correspondant aux zones situées à l'intérieur des terres et aux zones côtières), Zone A1 + Zone A2, comprise dans la distance courante du trajet.

Si nécessaire, il faudra réévaluer ces distances pour chaque distance totale du trajet comprise dans les boucles d'itération des modèles de propagation.

#### *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 7800 km<sup>2</sup>, fleuves exclus. Pour le calcul de cette zone, les îles situées dans ces étendues d'eau sont considérées comme de l'eau si elles ont des altitudes inférieures à 100 m au-dessus du niveau moyen des eaux sur plus de 90% de leur surface. Les îles qui ne remplissent pas cette condition seront considérées comme des étendues terrestres.

#### *Vastes zones lacustres ou marécageuses*

Les administrations doivent déclarer comme zone côtière A1 les vastes zones de terre (7800 km<sup>2</sup>) comprenant un grand nombre de petits lacs ou un réseau de cours d'eau, si plus de la moitié de leur superficie est occupée par des étendues d'eau et si plus de 90% des terres ont une altitude inférieure à 100 m au-dessus du niveau moyen des eaux.

Il est difficile de déterminer sans ambiguïté les régions climatiques relevant de la Zone A1, les vastes étendues d'eau à l'intérieur des terres et les vastes zones lacustres ou marécageuses. C'est pourquoi les administrations sont invitées à notifier au Bureau des radiocommunications de l'UIT (BR) les régions de leur territoire national qu'elles désirent faire entrer dans ces catégories. Faute d'informations contraires dûment notifiées et enregistrées, toutes les zones terrestres seront considérées comme faisant partie de la Zone climatique A2.

### **4.3 Utilisation de données radioclimatiques figurant dans d'autres Recommandations**

Dans certains paragraphes, on fait référence, pour les calculs en mode (1) ou (2), à des données radioclimatiques figurant dans d'autres Recommandations de l'UIT-R, à savoir:

- a) la Recommandation UIT-R P.836 relative à la concentration en vapeur d'eau;
- b) la Recommandation UIT-R P.837 relative à l'intensité de pluie;
- c) la Recommandation UIT-R P.839 relative à l'altitude de pluie.

Ces Recommandations sont signalées lorsqu'on doit s'y référer pour obtenir un paramètre radioclimatique en un point donné défini par sa longitude et sa latitude. Dans d'autres parties des calculs en mode (1) ou (2), on utilise des valeurs constantes de certains paramètres radioclimatiques, auquel cas toute référence auxdites Recommandations est inutile.

## **5 Limites de distance**

### **5.1 Limites de distance minimales**

La distance de coordination dans une direction donnée est déterminée à partir d'un certain nombre de paramètres (voir ci-dessus) fondés uniquement sur des paramètres de propagation, et les

distances pourraient s'étendre d'une distance relativement voisine de la station terrienne à plusieurs centaines de kilomètres. Cependant, pour des raisons pratiques et pour tenir compte des hypothèses concernant le trajet radioélectrique, il est nécessaire de fixer des limites inférieures pour les distances de coordination ( $d_{min}$ ), en faisant le calcul suivant:

Dans un premier temps, calculer la distance de coordination minimale en fonction de la fréquence,  $f$ (GHz), jusqu'à 40 GHz, d'après l'équation:

$$d'_{min}(f) = 100 + \frac{(\beta_p - f)}{2} \quad \text{km} \quad (4)$$

Calculer ensuite la distance de coordination minimale à toute fréquence de la gamme 100 MHz-105 GHz, au moyen de la relation:

$$d_{min}(f) = \begin{cases} d'_{min}(f) & \text{km} & \text{pour} & f < 40 \text{ GHz} & (5a) \\ \frac{(54 - f)d'_{min}(40) + 10(f - 40)}{14} & \text{km} & \text{pour} & 40 \text{ GHz} \leq f < 54 \text{ GHz} & (5b) \\ 10 & \text{km} & \text{pour} & 54 \text{ GHz} \leq f < 66 \text{ GHz} & (5c) \\ \frac{10(75 - f) + 45(f - 66)}{9} & \text{km} & \text{pour} & 66 \text{ GHz} \leq f < 75 \text{ GHz} & (5d) \\ 45 & \text{km} & \text{pour} & 75 \text{ GHz} \leq f < 90 \text{ GHz} & (5e) \\ 45 - \frac{(f - 90)}{1,5} & \text{km} & \text{pour} & 90 \text{ GHz} \leq f \leq 105 \text{ GHz} & (5f) \end{cases}$$

A noter que dans l'équation (5b),  $d'_{min}(40)$  est évalué à l'aide de l'équation (4), où  $f = 40$ .

Cette distance minimale s'applique au mode de propagation (1) seulement. En ce qui concerne le mode de propagation (2) une distance minimale de 55 km est employée pour toutes les fréquences.

## 5.2 Limites de distance maximales

Il faut également fixer des limites supérieures ( $d_{max1}$  et  $d_{max2}$ ) pour la distance maximale utilisée dans les calculs itératifs en modes de propagation (1) et (2) respectivement. La limite de distance de calcul maximale en mode de propagation (1) ( $d_{max1}$ ) est donnée par la relation:

$$d_{max1} = \begin{cases} 1200 & \text{km} & \text{pour} & f \leq 60 \text{ GHz} & (6a) \\ 80 - 10 \log\left(\frac{p_1}{50}\right) & \text{km} & \text{pour} & f > 60 \text{ GHz} & (6b) \end{cases}$$

Les limites de distance de calcul maximales en mode de propagation (2) ( $d_{max2}$ ) sont indiquées dans le Tableau 2.

## 5.3 Utilisation des limites de distance pour les calculs itératifs

Pour les calculs en mode (1), on incrémente la distance à partir de sa valeur limite minimale sans jamais dépasser sa valeur limite maximale. En mode (2), on fait décroître la distance à partir de sa valeur limite maximale (ou à partir du contour principal en mode auxiliaire (2)) sans jamais la rendre inférieure à sa valeur limite minimale.

## 6 Détermination de la distance de coordination en mode de propagation (1) – Mécanismes de propagation le long du grand cercle

### 6.1 Distances de coordination fondées sur des pourcentages de temps pour le mois le plus défavorable

Les calculs de la distance de coordination sont fondés sur un niveau de brouillage qui ne doit pas être dépassé pendant plus d'un pourcentage de temps moyen annuel donné,  $p_1$ . Dans les cas où il est nécessaire de fonder la coordination sur un pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable,  $p_{w1}$ , on peut calculer le pourcentage de temps équivalent annuel,  $p_1$ , exigé par la méthode en appliquant l'équation suivante.

Soit la relation:

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1,1 + |\cos 2\zeta_r|^{0,7}} & \text{pour } \zeta_r \leq 45^\circ & (7a) \\ \sqrt{1,1 - |\cos 2\zeta_r|^{0,7}} & \text{pour } \zeta_r > 45^\circ & (7b) \end{cases}$$

alors:

$$p_1 = 10^{\frac{\log(p_{w1}) + \log(G_L) - 0,444}{0,816}} \quad (8)$$

où  $p_1$  (%) est le pourcentage de temps moyen annuel en mode de propagation (1).

Si nécessaire, la valeur de  $p_1$  doit être limitée de sorte que  $12p_1 \geq p_{w1}$ .

### 6.2 Calcul de la distance de coordination en mode de propagation (1)

Il convient d'appliquer les méthodes suivantes pour déterminer les distances de coordination en mode de propagation (1):

- pour les fréquences comprises entre 100 et 790 MHz, appliquer la méthode décrite dans le § 2 de l'Appendice 2;
- pour les fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz, appliquer la méthode décrite dans le § 3 de l'Appendice 2;
- pour les fréquences comprises entre 60 et 105 GHz, appliquer la méthode décrite dans le § 4 de l'Appendice 2.

## 7 Détermination du contour de coordination en mode de propagation (2) – Diffusion par les hydrométéores

### 7.1 Généralités

En ce qui concerne la diffusion par les hydrométéores (diffusion par la pluie, par exemple), le contour de coordination est déterminé au moyen d'un trajet dont la configuration est sensiblement différente de celle qui intervient dans les mécanismes de propagation sur l'arc de grand cercle. En première approximation, la pluie entraîne une diffusion isotrope de l'énergie, si bien que le brouillage peut se manifester dans de très grands angles de diffusion et dans des intersections de faisceaux éloignés de l'arc de grand cercle.

Pour ce mode de propagation, la classification de la surface de la Terre en zones situées à l'intérieur des terres, en zones côtières et en zones maritimes n'est plus utilisée.

### 7.2 Distances de coordination fondées sur des pourcentages de temps pour le mois le plus défavorable

Les calculs de la distance de coordination sont fondés sur un niveau de brouillage qui ne doit pas être dépassé pendant plus d'un pourcentage de temps moyen annuel donné,  $p_2$ . Dans les cas où il est nécessaire de fonder la coordination sur un pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable,  $p_{w2}$ , on peut calculer le pourcentage de temps équivalent annuel,  $p_2$ , exigé par la méthode en appliquant la relation:

$$p_2 = 0,30(p_{w2})^{1,15} \quad (9)$$

où:

$$1,9 \times 10^{-4} < p_{w2} < 7,8$$

### 7.3 Calcul des contours pour le mode de propagation (2)

Dans le cas du mode de propagation (2), il convient de calculer les distances de coordination à l'aide de la méthode décrite dans l'Appendice 3. Ces calculs ne sont nécessaires que dans la gamme de fréquences 1-40,5 GHz. En dehors de cette gamme, les brouillages dus à la diffusion par la pluie sont négligeables et la distance de coordination en mode (2) est égale à la distance de coordination minimale donnée par l'équation (5).

## 8 Contours auxiliaires

### 8.1 Généralités

Les contours de coordination sont fondés sur les hypothèses les plus défavorables concernant les brouillages. Des hypothèses aussi défavorables ne se rencontrent pas forcément dans la pratique et dans certaines conditions, on peut tracer des contours auxiliaires afin de ne pas prendre en compte les stations de Terre auxquelles les hypothèses ne s'appliquent pas.

Pour le mode de propagation (1), le calcul des contours auxiliaires n'exige pas de données de propagation supplémentaires. Pour le mode de propagation (2), les contours auxiliaires sont tracés pour différentes valeurs de l'angle de dépointage, qui est l'angle d'azimut de décalage de l'axe du faisceau principal de la station de Terre avec la direction de la station terrienne. A cette fin, il faut tenir compte d'autres paramètres de propagation (voir le § 8.2 ci-dessous).

### 8.2 Diffusion par les hydrométéores (mode de propagation (2))

Dans le cas du mode de propagation (2), le contour de coordination autour d'une station terrienne est calculé pour la géométrie la plus défavorable, à savoir que les deux faisceaux principaux se coupent exactement dans le plan du grand cercle où sont situées les deux stations. Il en résulte une grande zone de coordination à l'intérieur de laquelle il faut calculer en détail les niveaux de brouillage imputables à la diffusion par les hydrométéores. Dans la pratique, il est beaucoup plus probable que la propagation en mode (2) s'effectuera en dehors du plan du grand cercle plutôt que dans ce plan et, en outre, il y a peu de chances que les lobes principaux des antennes se coupent exactement. Dans les deux cas, il est possible de tracer des contours auxiliaires qui détermineront des zones plus petites que la zone de coordination. Les contours auxiliaires pour le mode de propagation (2), qui tiennent compte du décalage de l'azimut,  $\varphi$ , du faisceau d'antenne d'une station de Terre avec la direction de la station terrienne, doivent être calculés à l'aide de la méthode décrite dans le § 4 de l'Appendice 3. Une station située à l'extérieur du contour correspondant à son angle de dépointage n'a pas à être considérée comme une source significative de brouillage.



Dans le cas du mode de propagation (2), la distance de coordination minimale est identique à celle correspondant au mode (1), c'est-à-dire  $d_{min}$ . Les contours auxiliaires pour le mode (2) seront préparés pour des angles de dépointage de  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  et  $30^\circ$  et pour des angles supplémentaires si nécessaire. Il est indispensable de tout mettre en œuvre pour utiliser le diagramme d'antenne réel lors de la détermination des contours auxiliaires. Si l'on ne dispose pas de ce diagramme, on pourra utiliser le diagramme de référence de l'Appendice 4.

## Appendice 1 à l'Annexe 1

TABLEAU 1  
Paramètres d'entrée

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$d_c$	km	Distance entre la station terrienne et la côte, dans la direction considérée, utilisée pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (24)	Paramètre d'entrée
$d_h$	km	Distance de l'horizon radioélectrique, vu du centre de l'antenne de la station terrienne	§ 1 de l'Appendice 2	Paramètre d'entrée ou paramètre calculé
$d_{im}$	km	Distance à l'intérieur des terres continue la plus longue, Zone A2, à l'intérieur de la distance $d_i$ , utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	§ 4.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée
$d_{im}$	km	Distance terrestre continue la plus longue (zones situées à l'intérieur des terres et zones côtières), Zone A1 + Zone A2, comprise dans la distance $d_i$ , utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode (1)	§ 4.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée
$D$	m	Diamètre d'antenne utilisé pour calculer le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$f$	GHz	Fréquence, 100 MHz à 105 GHz	–	Paramètre d'entrée
$G_{max}$	dB	Gain d'antenne dans l'axe utilisé dans le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Equation (83)	Paramètre d'entrée ou paramètre calculé
$G_T$	dB	Gain d'antenne de la station de Terre (fixé par hypothèse à 42 dB), utilisé pour calculer la distance de coordination en mode (2)	Equation (57)	Paramètre d'entrée
$h_R$	km	Hauteur de pluie équivalente au-dessus du sol	Appendice 3	Paramètre d'entrée
$L_b(p_1)$	dB	Affaiblissement de transmission de base minimal admissible requis pour $p_1\%$ du temps en mode de propagation (1)	§ 1	Paramètre d'entrée
$L_b(p_2)$	dB	Affaiblissement de transmission de base minimal admissible requis pour $p_2\%$ du temps en mode de propagation (2)	§ 1	Paramètre d'entrée
$p_1$	%	Pourcentage de temps annuel moyen en mode de propagation (1), lorsque $p_1$ est compris entre: 1% et 50% et que $f$ est situé dans la gamme 100-790 MHz 0,001% et 50% lorsque $f$ est compris entre 790 MHz et 105 GHz	Equation (8)	Paramètre d'entrée ou paramètre calculé
$p_{w1}$	%	Pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable en mode de propagation (1)	§ 6.1	Paramètre d'entrée

TABLEAU 1 (*fin*)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$p_2$	%	Pourcentage de temps annuel moyen en mode de propagation (2) 0,001% à 10%	Equation (9)	Paramètre d'entrée ou paramètre calculé
$p_{w2}$	%	Pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable en mode de propagation (2)	§ 7.2	Paramètre d'entrée
$r_E$	km	Rayon effectif de la Terre (= 8 500 km)	Appendice 3	Paramètre d'entrée
$R(p_2)$	mm/h	Intensité de pluie dépassée pendant un pourcentage de temps annuel moyen $p_2\%$ et utilisée pour les calculs de propagation en mode (2)	Appendice 3	Paramètre d'entrée
$s$	km	Incrément de distance utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination (valeur recommandée: 1 km)	§ 1	Paramètre d'entrée
$\varepsilon$	degrés	Angle d'élévation du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne	§ 3 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée
$\varphi$	degrés	Décalage angulaire par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne, utilisé dans le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$\gamma_P$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à la pluie	Appendice 3	Paramètre d'entrée
$\lambda$	m	Longueur d'onde utilisée pour déterminer le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$\theta_h$	degrés	Angle d'élévation de l'horizon de la station terrienne	§ 1 de l'Appendice 2	Paramètre d'entrée
$\theta_{bw}$	degrés	Ouverture du faisceau de l'antenne à 3 dB utilisée dans le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Equations (95) et (96)	Paramètre d'entrée
$\rho$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant plus de 50% du temps	Equations (21) et (56)	Paramètre d'entrée
$\rho_0$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant plus de 50% du temps au niveau de la station terrienne	Equation (22b)	Paramètre d'entrée
$\rho_{dmin}$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant plus de 50% du temps à la distance $d_{min}$ sur l'azimut approprié	Equation (22b)	Paramètre d'entrée
$\rho_i$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant plus de 50% du temps pour chaque pas de l'itération en mode (1)	Equation (32)	Paramètre d'entrée
$\omega$	degrés	Angle polaire de la station de Terre par rapport au centre du volume commun, utilisé pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	§ 4 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée
$\zeta$	degrés	Latitude de la station terrienne (positive pour le nord, négative pour le sud)	Equations (1a) et (1b)	Paramètre d'entrée

## Appendice 2 à l'Annexe 1

### Calcul de la distance de coordination pour le mode de propagation (1)

#### 1 Effet d'écran du terrain

En mode de propagation (1), il arrive que la station terrienne subisse un effet d'écran (effet d'écran du terrain) imputable au terrain entourant cette station. Pour tenir compte de ce phénomène, on utilise un terme  $A_h$  dans le modèle du mode de propagation (1). On calcule l'affaiblissement supplémentaire résultant de l'effet d'écran du terrain au voisinage de la station terrienne, le long de chaque trajet radial, de la façon suivante.

La distance de l'horizon radioélectrique,  $d_h$ , vu du centre de l'antenne de la station terrienne, est donnée par l'expression:

$$d_h = \begin{cases} 0,5 \text{ km} & \text{si on ne dispose d'aucun renseignement sur la distance} \\ & \text{de l'horizon, ou si la distance est inférieure à } 0,5 \text{ km} \\ \text{distance de l'horizon (km)} & \text{si cette valeur est comprise entre } 0,5 \text{ km} \leq \text{distance de} \\ & \text{l'horizon} \leq 5,0 \text{ km} \\ 5,0 \text{ km} & \text{si la distance de l'horizon est supérieure à } 5,0 \text{ km} \end{cases}$$

On calcule ensuite l'angle de l'horizon,  $\theta_h$  (degrés), défini ici comme l'angle vu du centre de l'antenne de la station terrienne, formé par le plan horizontal et un rayon qui passe sous incidence rasante à l'horizon physique visible dans la direction considérée. La valeur de  $\theta_h$  est positive quand l'horizon physique est au-dessus du plan horizontal. Il est nécessaire de déterminer l'angle d'élévation de l'horizon pour tous les azimuts autour d'une station terrienne. Dans la pratique, il suffit généralement de le faire par pas d'azimut de  $5^\circ$ . Toutefois, on s'efforcera de définir et de prendre en considération les angles d'élévation de l'horizon minimaux qui peuvent s'intercaler entre les azimuts examinés par pas de  $5^\circ$ .

La correction, pour tenir compte de la distance de l'horizon,  $A_d$  (dB) le long de chaque azimut vu depuis une station terrienne, s'obtient comme suit:

$$A_d = 15 \left[ 1 - \exp\left(\frac{0,5 - d_h}{5}\right) \right] \left[ 1 - \exp(-\theta_h f^{1/3}) \right] \quad \text{dB} \quad (10)$$

L'affaiblissement total imputable à l'effet d'écran du terrain le long de chaque azimut vu depuis la station terrienne est donné par:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log(1 + 4,5\theta_h f^{1/2}) + \theta_h f^{1/3} + A_d & \text{dB} & \text{pour } \theta_h \geq 0^\circ & (11a) \\ 3 \left[ (f + 1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] \theta_h & \text{dB} & \text{pour } 0^\circ > \theta_h \geq -0,5^\circ & (11b) \\ -1,5 \left[ (f + 1)^{1/2} - 0,0001 f - 1,0487 \right] & \text{dB} & \text{pour } \theta_h < -0,5^\circ & (11c) \end{cases}$$

La valeur de  $A_h$  est assujettie aux limites suivantes:

$$A_h \leq (30 + \theta_h)$$

et

$$A_h \geq -10$$

(12)

Dans les équations (10), (11) et (12), la valeur de  $\theta_h$  doit toujours être exprimée en degrés. A noter également que si des limites sont définies dans l'équation (12), c'est parce que, dans la pratique, la protection n'est pas nécessairement garantie en dehors de ces limites.

## 2 Fréquences comprises entre 100 MHz et 790 MHz

Le modèle de propagation présenté ci-dessous est limité à un pourcentage de temps annuel moyen,  $p_1$ , compris entre 1% et 50%.

Il faut procéder à un calcul par itération comme indiqué au § 1 de l'Annexe 1. On évalue l'équation (14) et, en commençant à la distance de coordination minimale,  $d_{min}$ , qui s'obtient à l'aide de la méthode décrite au § 5.1, on applique par itération les équations (15) à (18), pour des distances  $d_i$ , où  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., qui sont incrémentées du pas correspondant. Pour chaque itération,  $d_i$  désigne la distance courante. On poursuit cette opération jusqu'à ce que l'une des deux expressions suivantes se vérifie:

$$L_2(p_1) \geq L_1(p_1) \quad (13a)$$

ou

$$d_i \geq d_{max1} \quad (13b)$$

La distance de coordination requise,  $d_1$ , est alors donnée par la distance courante de la dernière itération.

L'incrément de distance recommandé,  $s$  (km), est de 1 km. Les équations (16), (17a) et (17b) ne s'appliquent qu'aux trajets relevant exclusivement d'une catégorie de trajet. Lorsqu'un trajet comprend des tronçons dans plusieurs zones (terres et/ou mers froides et/ou mers chaudes, voir le § 4.2), on calcule la distance de coordination par interpolation des résultats calculés, dans l'hypothèse où le trajet est en totalité terrestre ou en totalité maritime. Lorsque des parties d'un trajet maritime sont situées dans des zones maritimes chaudes, on suppose que la totalité de la zone maritime située le long de ce trajet est une mer chaude.

$$L_1(p_1) = L_b(p_1) - A_h \quad (14)$$

où  $L_b(p_1)$  (dB) est l'affaiblissement de transmission de base minimale admissible requis pendant  $p_1\%$  du temps.

### Calculs itératifs

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

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (15)$$

Les affaiblissements,  $L_{bl}(p_1)$  et  $L_{bs}(p_1)$ , dans l'hypothèse d'un trajet en totalité terrestre (Zone A1 ou A2) ou situé entièrement dans une zone maritime froide (Zone B) ou dans une zone maritime chaude (Zone C) respectivement, sont calculés successivement à l'aide des équations suivantes:

$$L_{bl}(p_1) = 142,8 + 20 \log f + 10 \log p_1 + 0,1 d_i \quad \text{pour des trajets situés entièrement en Zone A1 ou A2} \quad (16)$$

$$L_{bs}(p_1) = \begin{cases} \left. \begin{aligned} &49,91 \log(d_i + 1840f^{1,76}) + 1,195f^{0,393}(\log p_1)^{1,38} d_i^{0,597} \\ &+ (0,01 d_i - 70)(f - 0,1581) + (0,02 - 2 \times 10^{-5} p_1^2) d_i + 9,72 \times 10^{-9} d_i^2 p_1^2 \\ &+ 20,2 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{pour des} \\ \text{trajets situés} \\ \text{entièrement} \\ \text{en Zone B} \end{array} \quad (17a) \\ \\ \left. \begin{aligned} &49,343 \log(d_i + 1840f^{1,58}) + 1,266(\log p_1)^{(0,468 + 2,598f)} d_i^{0,453} \\ &+ (0,037 d_i - 70)(f - 0,1581) + 1,95 \times 10^{-10} d_i^2 p_1^3 + 20,2 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{pour des} \\ \text{trajets situés} \\ \text{entièrement} \\ \text{en Zone C} \end{array} \quad (17b) \end{cases}$$

L'affaiblissement de transmission de base à la distance courante s'obtient de la façon suivante:

$$L_2(p_1) = L_{bs}(p_1) + \left[ 1 - \exp\left(-5,5\left(\frac{d_{tm}}{d_i}\right)^{1,1}\right) \right] (L_{bl}(p_1) - L_{bs}(p_1)) \quad (18)$$

où  $d_{tm}$  est défini au § 4.2 de l'Annexe 1.

### 3 Fréquences comprises entre 790 MHz et 60 GHz

Le modèle de propagation présenté ci-dessous est limité à un pourcentage de temps annuel moyen,  $p_1$ , compris entre 0,001% et 50%.

Il faut procéder à un calcul par itération comme indiqué au § 1 de l'Annexe 1. On évalue les formules (20) à (30) et, en commençant à la distance de coordination minimale,  $d_{min}$ , qui s'obtient à l'aide de la méthode décrite au § 5.1, on applique par itération les formules (31) à (41), pour des distances  $d_i$ , où  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., qui sont incrémentés du pas correspondant. Pour chaque itération,  $d_i$  désigne la distance courante. On poursuit cette opération jusqu'à ce que l'une des deux expressions suivantes se vérifie:

$$(L_5(p_1) \geq L_3(p_1))$$

et

$$(L_6(p_1) \geq L_4(p_1)) \quad (19a)$$

ou

$$d_i \geq d_{max1} \quad (19b)$$

La distance de coordination requise,  $d_1$ , est alors donnée par la distance courante de la dernière itération.

L'incrément de distance recommandé,  $s$  (km), est de 1 km.

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

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[ 7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,50} \right] f^2 \times 10^{-3} & \text{pour } f \leq 56,77 \\ 10 & \text{pour } f > 56,77 \end{cases} \quad (20a)$$

$$(20b)$$

L'affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau est fonction de  $\rho$ , à savoir la concentration en vapeur d'eau en unités de  $\text{g/m}^3$ , et a pour expression:

$$\gamma_w(\rho) = \left( 0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (21)$$

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

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3,0) \quad (22a)$$

Tirer de la Recommandation UIT-R P.836 la valeur de la concentration moyenne en vapeur d'eau  $\rho_0$  au niveau de la station terrienne ainsi que la valeur  $\rho_{dmin}$  à la distance  $d_{min}$  le long de l'azimut approprié.

Calculer l'affaiblissement dû à la concentration en vapeur d'eau pour la partie du trajet inférieure à la distance minimale, en utilisant la formule suivante:

$$A_w = d_{min} \cdot \gamma_w\left(\frac{\rho_0 + \rho_{dmin}}{2}\right) \quad (22b)$$

où  $\rho_0$  et  $\rho_{dmin}$  sont définis dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1.

Calculer l'affaiblissement linéique en propagation guidée fonction de la fréquence (dB/km):

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3} \quad (23)$$

*Pour le modèle de propagation guidée*

Calculer la correction pour tenir compte du couplage direct dans des conduits maritimes (dB):

$$A_c = \frac{-6}{(1 + d_c)} \quad (24)$$

où  $d_c$  (km) est la distance entre la station terrienne et la côte, dans la direction considérée.

$d_c$  est nul dans d'autres cas.

Calculer la partie des affaiblissements indépendante de la distance (dB):

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c + A_w \quad (25)$$

Calculer la valeur minimale requise des affaiblissements fonction de la distance (dB):

$$L_3(p_1) = L_b(p_1) - A_1 \quad (26)$$

Définir un facteur prévoyant une tolérance pour les affaiblissements additionnels fonction du trajet et de toutes autres causes, y compris celles associées à la hauteur du terrain:

$$\varepsilon_L = 8,5 \quad (27)$$

*Pour le modèle de diffusion troposphérique*

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

$$L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[ \log\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2 \quad (28)$$

Calculer la partie des affaiblissements indépendante de la distance (dB):

$$A_2 = 187,36 + 10 \theta_h + L_f - 0,15 N_0 - 10,1 \left( -\log\left(\frac{p_1}{50}\right) \right)^{0,7} \quad (29)$$

où:

$\theta_h$ : angle d'élévation de l'horizon de la station terrienne (degrés)

$N_0$ : réfractivité au sol ramené au niveau de la mer, à mi-trajet.

Calculer la valeur minimale requise pour les affaiblissements fonction de la distance (dB):

$$L_4(p_1) = L_b(p_1) - A_2 \quad (30)$$

*Calculs itératifs*

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

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (31)$$

Tirer de la Recommandation UIT-R P.836 la valeur  $\rho_i$  ( $\text{g/m}^3$ ) – concentration en vapeur d'eau dépassée pendant 50% du temps – pour une position à la surface de la Terre à la distance  $d_i$  le long de l'azimut approprié. Calculer alors l'affaiblissement (dépendant de la distance) dû à l'absorption par les gaz en utilisant la formule:

$$A_g = (\gamma_o + \gamma_d) \cdot d_i + \sum_{n=0}^i \gamma_w(\rho_n) \cdot s \quad (32)$$

où  $\gamma_w(\rho_n)$  est donné par la formule (21).

Calculer les paramètres suivants fonction de la zone:

$$\tau = 1 - \exp \left[ - \left( 4,12 \times 10^{-4} d_{lm}^{2,41} \right) \right] \quad (33)$$

où  $d_{lm}$  est défini au § 4.2 de l'Annexe 1.

$$\mu_1 = \left[ 10^{\frac{-d_{lm}}{16 - 6,6 \tau}} + \left[ 10^{-(0,496 + 0,354 \tau)} \right]^5 \right]^{0,2} \quad (34)$$

où  $d_{lm}$  est défini au § 4.2 de l'Annexe 1.

La valeur de  $\mu_1$  doit être inférieure ou égale à 1.

$$\sigma = -0,6 - \varepsilon_L \times 10^{-9} d_i^{3,1} \tau \quad (35)$$

La valeur de  $\sigma$  doit être supérieure ou égale à  $-3,4$ .

$$\mu_2 = \left( 2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right)^\sigma \quad (36)$$

La valeur de  $\mu_2$  doit être inférieure ou égale à 1.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176 \zeta_r) \log \mu_1} & \text{pour } \zeta_r \leq 70^\circ \\ 10^{0,3 \log \mu_1} & \text{pour } \zeta_r > 70^\circ \end{cases} \quad (37a)$$

$$\text{pour } \zeta_r > 70^\circ \quad (37b)$$

Calculer l'incidence de la propagation guidée,  $\beta$ , en fonction du trajet et un paramètre connexe,  $\Gamma$ , pour calculer l'affaiblissement de transmission de base en fonction du temps:

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad (38)$$

$$\Gamma = \frac{1,076}{(2,0058 - \log \beta)^{1,012}} \exp \left[ - \left( 9,51 - 4,8 \log \beta + 0,198 (\log \beta)^2 \right) \times 10^{-6} d_i^{1,13} \right] \quad (39)$$

Calculer la partie des affaiblissements en fonction de la distance (dB) en propagation guidée:

$$L_5(p_1) = A_g + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) \log \left( \frac{p_1}{\beta} \right) + 12 \left( \frac{p_1}{\beta} \right)^\Gamma \quad (40)$$

et pour la diffusion troposphérique:

$$L_6(p_1) = 20 \log(d_i) + 5,73 \times 10^{-4} (112 - 15 \cos(2\zeta)) d_i + (\gamma_o + \gamma_{wt}) d_i \quad (41)$$

#### 4 Fréquences comprises entre 60 GHz et 105 GHz

Dans les bandes de fréquences en ondes millimétriques comprises entre 60 GHz et 105 GHz, le modèle de propagation est fondé sur l'affaiblissement en espace libre et sur une estimation prudente de l'absorption par les gaz, auxquels s'ajoute une tolérance pour les renforcements des signaux pour de faibles pourcentages de temps. Ce modèle de propagation est valable pour des pourcentages de temps annuels,  $p_1$ , compris entre 0,001% et 50%.

Il faut procéder à un calcul par itération comme indiqué au § 1 de l'Annexe 1. On évalue les formules (43) à (47) et, en commençant à la distance de coordination minimale,  $d_{min}$ , qui s'obtient à l'aide de la méthode décrite au § 5.1, on applique par itération les équations (48) et (49), pour des



distances  $d_i$ , où  $i = 0, 1, 2 \dots$  etc., qui sont incrémentés du pas correspondant. Pour chaque itération,  $d_i$  désigne la distance courante.

On poursuit cette opération jusqu'à ce que l'une des deux expressions suivantes se vérifie:

$$L_9(p_1) \geq L_8(p_1) \quad (42a)$$

ou

$$d_i \geq d_{max1} \quad (42b)$$

La distance de coordination requise,  $d_1$ , est alors donnée par la distance courante de la dernière itération.

L'incrément de distance recommandé,  $s$  (km), est de 1 km.

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à l'air sec dans la gamme de fréquences 60-105 GHz, à l'aide de la relation suivante:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[ 2 \times 10^{-4} \left( 1 - 1,2 \times 10^{-5} f^{1,5} \right) + \frac{4}{(f - 63)^2 + 0,936} + \frac{0,28}{(f - 118,75)^2 + 1,771} \right] f^{2,24} \times 10^{-4} & \text{pour } f > 63,26 \text{ GHz} \\ 10 \text{ dB/km} & \text{pour } f \leq 63,26 \text{ GHz} \end{cases} \quad (43a)$$

$$\quad (43b)$$

Calculer l'affaiblissement linéique (dB/km) dû à la vapeur d'eau, pour une concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère de  $3 \text{ g/m}^3$ , à l'aide de la formule suivante:

$$\gamma_{wm} = \left( 0,039 + 7,7 \times 10^{-4} f^{0,5} \right) f^{2,2} \times 10^{-4} \quad (44)$$

On obtient une estimation prudente de l'affaiblissement linéique dû à l'absorption par les gaz à partir de la relation:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm} \quad \text{dB/km} \quad (45)$$

Pour la fréquence considérée et compte tenu de la valeur de l'effet d'écran du terrain pour la station terrienne,  $A_h$ (dB), calculée à l'aide de la méthode décrite au § 1 du présent Appendice, calculer la partie de l'affaiblissement de transmission de base qui n'est pas fonction de la distance à l'aide de la formule suivante:

$$L_7 = 92,5 + 20 \log(f) + A_h \quad \text{dB} \quad (46)$$

Calculer la valeur minimale requise des affaiblissements fonction de la distance (dB):

$$L_8(p_1) = L_b(p_1) - L_7 \quad \text{dB} \quad (47)$$

### Calculs itératifs

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

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (48)$$

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

$$L_9(p_1) = \gamma_{gm} d_i + 20 \log(d_i) + 2,6 \left[ 1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p_1}{50}\right) \quad (49)$$

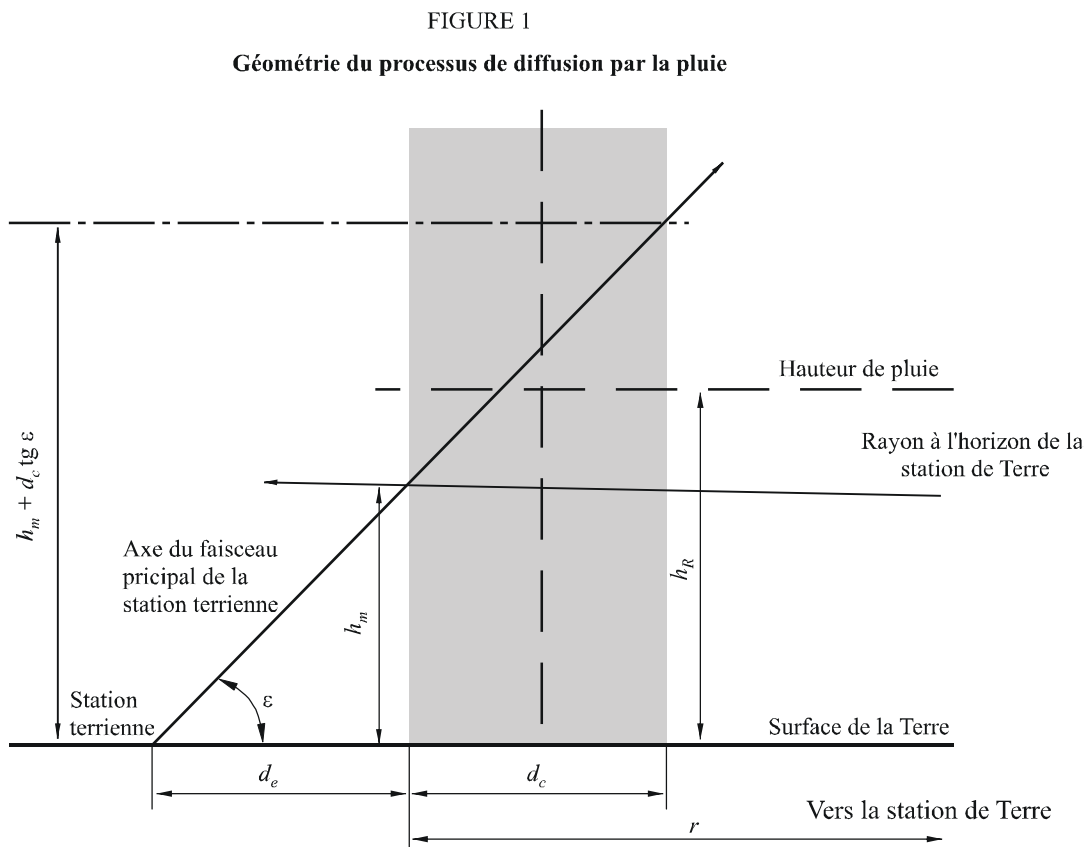
### Appendice 3 à l'Annexe 1

## Calcul de la distance de coordination pour le mode de propagation (2)

### 1 Aperçu

La méthode permettant de déterminer la distance de coordination en mode de propagation (2) en cas de brouillages dus à la diffusion par la pluie est fondée sur l'équation radar bistatique; on utilise pour l'antenne de la station terrienne l'approximation dite du «faisceau étroit» suivant laquelle l'affaiblissement par élargissement dû au volume de diffusion en direction de l'antenne est annulé par le gain de cette dernière. Cette méthode dépend donc principalement de la longueur du trajet entre la station de Terre et le volume de diffusion (c'est-à-dire la cellule de pluie).

L'algorithme donné ci-après permet d'exprimer l'affaiblissement de transmission  $L_r(p_2)$  (dB) en fonction de l'intensité de pluie  $R(p_2)$  (mm/h) et de la distance de séparation  $r_i$  (km) entre le bord de la cellule de pluie et un des emplacements possibles de la station de Terre. Les paramètres géométriques du processus de diffusion par la pluie sont représentés sur la Fig. 1.



0620-01

La procédure permettant de déterminer le contour de diffusion par les hydrométéores est la suivante:

La valeur de  $R(p_2)$  doit être tirée de la Recommandation UIT-R P.837 pour le pourcentage de temps annuel moyen requis  $p_2$  (compris entre 0,001% et 10%) et pour la latitude et la longitude appropriées vers la station terrienne.

On calcule ensuite  $L_r(p_2)$  pour des valeurs de  $r_i$  que l'on décrémente, en partant de la valeur maximale  $d_{max2}$  de la distance de calcul en mode de propagation (2), donnée dans le Tableau 2. Un pas itératif  $s$  (km) de 1 km est recommandé. On décrémente  $r_i$  jusqu'à obtenir la première valeur de  $L_r(p_2)$  immédiatement inférieure à l'affaiblissement de transmission requis  $L_b(p_2)$ . L'itération prend donc fin lorsqu'une des deux conditions suivantes est satisfaite:

$$L_r(p_2) < L_b(p_2) \tag{50a}$$

ou 
$$r_i < d_{min} \tag{50b}$$

cette dernière condition correspondant à la distance de calcul minimale.

La distance de calcul,  $d_r$ , est alors égale à la valeur précédente de  $r_i$ :

$$d_r = r_{i-1} = d_{max2} - s \cdot (i - 1) \tag{51}$$

La distance de coordination résultante,  $d_r$ , correspond à la longueur du trajet de propagation compris entre la station de Terre émettrice et le bord de la cellule de pluie donnant l'affaiblissement de trajet de transmission requis. En supposant une diffusion isotropique en azimut pour la cellule de pluie, on définit le contour de coordination par un cercle de rayon  $d_r$  centré sur le bord de la cellule de pluie.

Le contour de coordination correspond alors à un cercle de rayon  $d_r$  dont le centre est situé sur l'axe azimutal de la station terrienne, à une distance  $d_e$  de celle-ci.  $d_e$  est la distance entre la station terrienne et le bord de la cellule de pluie (voir la Fig. 1); sa détermination fait l'objet de la procédure décrite ci-après.

**2 Distance de calcul maximale**

Comme il est indiqué au § 5.2 de l'Annexe 1, il faut fixer des limites supérieures pour la distance maximale utilisée dans la détermination itérative de la distance de calcul, à partir de laquelle cette itération démarre. La distance de calcul maximale à utiliser en mode de propagation (2) ( $d_{max2}$ ) dépend de la latitude; elle est donnée dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

**Distances de calcul maximales en mode de propagation (2) ( $d_{max2}$ ) (km)**

Latitude (degrés)	0-30	30-40	40-50	50-60	> 60
Distance (km)	350	360	340	310	280

**3 Calcul du contour de coordination en mode de propagation (2)**

Déterminer à partir de la Recommandation UIT-R P.837 l'intensité de pluie  $R(p_2)$  dépassée pendant  $p_2$  % du temps pour la longitude et la latitude de la station terrienne. Il convient de noter que  $p_2$  est le pourcentage de temps annuel moyen applicable au mode de propagation (2).

Si le taux de précipitation est dépassé pendant  $p_2\%$  du temps  $R(p_2) \leq 0,1$  mm/h, les contours de coordination pour le mode de propagation (2) devraient être définis pour un taux de précipitation supposé égal à 0,1 mm/h.

Il est également à noter que l'intensité de pluie et la hauteur de pluie ne varient pas beaucoup entre l'emplacement de la station terrienne et celui de la cellule de pluie le long de la direction azimutale de cette station, puisque ces deux points sont généralement distants de moins de 30 km, si l'angle d'élévation de la station est supérieur à  $10^\circ$ .

Déterminer, en présumant la polarisation verticale grâce à la Recommandation UIT-R P.838, la valeur de l'affaiblissement linéique,  $\gamma_R$  (dB/km), dû à la pluie.

Déterminer le diamètre,  $d_c$  (km), de la cellule de pluie:

$$d_c = 3,3R(p_2)^{-0,08} \quad (52)$$

Déterminer grâce à la Recommandation UIT-R P.839 la valeur de  $h_R$  (km), hauteur moyenne de pluie au-dessus du sol, à la latitude et la longitude de la station terrienne.

Calculer le paramètre intermédiaire  $\eta$ :

$$\eta = (R(p_2) + 1)^{0,19} \quad (53)$$

Calculer la distance de référence  $r_m$  (km) pour l'affaiblissement en dehors du volume de diffusion commun:

$$r_m = 600R(p_2)^{-0,5} \times 10^{-\eta} \quad (54)$$

L'affaiblissement linéique dû à l'air sec (dB/km) est donné par l'expression suivante:

$$\gamma_o = \left[ 7,19 \times 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,227} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 1,5} \right] f^2 \times 10^{-3} \quad (55)$$

Déterminer grâce à la Recommandation UIT-R P.836 la valeur de  $\rho$  ( $\text{g/m}^3$ ), concentration en vapeur d'eau de surface dépassée pendant 50% du temps à la latitude et la longitude de la station terrienne. Il convient de noter que pour déterminer plus simplement les contours de propagation en mode (2), on suppose une concentration en vapeur d'eau constante sur le trajet. L'affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau (dB/km) est donné par:

$$\gamma_{wv} = \left[ 0,050 + 0,0021\rho + \frac{3,6}{(f - 22,2)^2 + 8,5} \right] f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (56)$$

Attribuer une valeur au gain d'antenne de la station de Terre (on le suppose égal à 42 dBi):

$$G_T = 42 \quad (57)$$

### Calculs itératifs

Evaluer les formules (58) à (77) inclusivement pour des valeurs décroissantes de  $r_i$  en commençant par la distance de calcul maximale tirée du Tableau 2,  $r_i$  étant la distance de séparation courante (km) entre la cellule de pluie et un des emplacements possibles de la station de Terre ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ):

$$r_i = d_{max2} - i \cdot s \quad (58)$$

Poursuivre le processus jusqu'à ce qu'une des inégalités (50a) ou (50b) soit vérifiée. On attribue alors à  $d_r$ , distance de calcul due à la diffusion par la pluie, la valeur de  $r_i$  immédiatement supérieure à sa valeur courante:

$$d_r = d_{max2} - (i - 1) \cdot s \quad (59)$$

Si une itération conduit à  $d_r < d_{min}$ , alors  $d_r = d_{min}$ , ce qui achève l'itération. Il convient de noter que, pour le mode de propagation (2),  $d_{min} = 55$  km.

Déterminer l'altitude au-dessus du sol du point d'intersection entre le faisceau d'antenne de la station de Terre et celui de la station terrienne:

$$h_m = r_E \left( \frac{1}{\cos \delta} - 1 \right) \quad (60)$$

où:

$\delta$  est la séparation angulaire entre la cellule de pluie et le point à la surface de la Terre à la distance courante  $r_i$ :

$$\delta = \frac{r_i}{r_E} \quad \text{rad} \quad (61)$$

$r_E$ : rayon effectif de la Terre ( $r_E = 8\,500$  km).

Déterminer la longueur du trajet entre la station de Terre et le point d'intersection des faisceaux:

$$r_t = h_m \sqrt{1 + 2 \frac{r_E}{h_m}} \quad (62)$$

Déterminer la longueur de trajet entre le point d'intersection des faisceaux et la station terrienne:

$$r_r = \sqrt{r_E^2 \sin^2 \varepsilon + h_m^2 + 2h_m r_E - r_E \sin \varepsilon} \quad (63)$$

où:

$\varepsilon$ : angle d'élévation de l'antenne de la station terrienne.

Déterminer la distance horizontale entre la station terrienne et le bord de la cellule de pluie:

$$d_e = r_E \arcsin \left( \frac{r_r}{h_m + r_E} \cos \varepsilon \right) \quad (64)$$

Calculer le paramètre  $h_c$ , qui dépend de la région à l'intérieur de la cellule de pluie dans laquelle l'intersection des faisceaux se produit:

$$h_c = \begin{cases} h_m & \text{pour } h_R \leq h_m \\ h_R & \text{pour } h_m < h_R < h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon \\ h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon & \text{pour } h_R \geq h_m + d_c \operatorname{tg} \varepsilon \end{cases} \quad (65)$$

Calculer l'affaiblissement entre le point à la distance courante et le point d'intersection des faisceaux:

$$\Gamma_2 = \gamma_R r_m \left[ 1 - \exp \left( -\frac{r_t}{r_m} \right) \right] \quad (66)$$

ainsi que l'affaiblissement entre le point d'intersection des faisceaux et la station terrienne:

$$\Gamma_1 = \begin{cases} \gamma_R r_m \left[ 1 - \exp\left(-\frac{d_e}{r_m}\right) \right] & \text{pour } h_m \leq h_R \\ \gamma_R r_m \left[ \exp\left(-\frac{(h_m - h_R) \cot \varepsilon}{r_m}\right) - \exp\left(-\frac{d_e}{r_m}\right) \right] & \text{pour } h_m > h_R \end{cases} \quad (67)$$

Evaluer alors l'affaiblissement total sur le trajet dû à la diffusion par la pluie en dessous de la hauteur de pluie:

$$\Gamma_b = \exp\left[-0,23\left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \Gamma_2\right)\right] \quad (68)$$

ainsi que l'affaiblissement total sur le trajet dû à la diffusion par la couche de fusion et la glace au-dessus de l'altitude de pluie:

$$\Gamma_a = \exp\left[-0,23\left(\frac{\Gamma_1}{\cos \varepsilon} + \gamma_R \frac{h_c - h_m}{\sin \varepsilon}\right)\right] \quad (69)$$

Calculer la fonction de transfert effective associée à la diffusion par la pluie sous la hauteur de pluie:

$$C_b = \frac{4,34}{\gamma_R (1 + \cos \varepsilon)} \left[ 1 - \exp\left\{-0,23 \gamma_R (h_c - h_m) \frac{\sin \varepsilon}{1 - \cos \varepsilon}\right\} \right] \quad (70)$$

et celle associée à la diffusion par la glace au-dessus de la hauteur de pluie:

$$C_a = \frac{0,67}{\sin \varepsilon_s} \left[ \exp\{-1,5(h_c - h_R)\} - \exp\{-1,5(h_m - h_R + d_c \operatorname{tg} \varepsilon)\} \right] \quad (71)$$

La fonction de transfert de diffusion effective totale est alors donnée par:

$$C = \Gamma_b C_b + \Gamma_a C_a \quad (72)$$

Déterminer la déviation par rapport à la diffusion de Rayleigh pour les fréquences au-dessus de 10 GHz:

$$10 \log S = \begin{cases} 0,005(f - 10)^{1,7} R(p_2)^{0,4} & \text{pour } 10 \leq f \leq 40 \\ 0 & \text{pour } f < 10 \text{ ou lorsque } C_b = 0 \end{cases} \quad (73)$$

Il convient de noter que cette déviation ne concerne que la diffusion par la pluie, en dessous de la hauteur de pluie.

On évalue à présent l'affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère grâce aux expressions suivantes. On détermine en premier lieu les longueurs de trajet équivalentes, afin de prendre en compte la décroissance avec l'altitude de l'affaiblissement linéique dû aux gaz. Pour le trajet entre la station de Terre et la cellule de pluie:

$$d_{to} = \begin{cases} 0,9r_t & \text{si } r_t < 270 \text{ km} \\ 243 + 0,4(r_t - 270) & \text{si } r_t \geq 270 \text{ km} \end{cases} \quad (74a)$$

$$d_{tv} = \begin{cases} 0,85r_t & \text{si } r_t < 220 \text{ km} \\ 187 + 0,4(r_t - 220) & \text{si } r_t \geq 220 \text{ km} \end{cases} \quad (74b)$$

et pour le trajet entre la cellule de pluie et la station terrienne:

$$d_{ro} = 0,8r_r \tag{75a}$$

$$d_{rv} = 0,5r_r \tag{75b}$$

L'affaiblissement dû aux gaz est alors donné par:

$$A_g = \gamma_o(d_{to} + d_{ro}) + \gamma_{wv}(d_{tv} + d_{rv}) \tag{76}$$

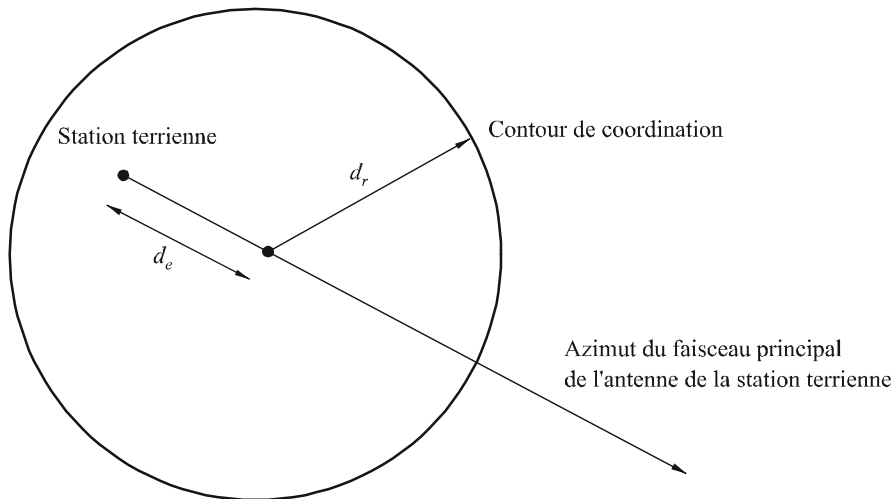
On obtient enfin l'affaiblissement de transmission:

$$L_r(p_2) = 173 + 20 \log r_i - 20 \log f - 14 \log R(p_2) - 10 \log C + 10 \log S - G_T + A_g \tag{77}$$

La distance  $d_r$  obtenue en fin d'itération est celle qui sépare la station de Terre du bord de la cellule de pluie. Le contour de coordination est alors matérialisé par un cercle de rayon  $d_r$  dont le centre se trouve sur la direction azimutale de la station terrienne, à une distance  $d_e$  de celle-ci (voir la Fig. 2).

FIGURE 2

Localisation du contour de coordination

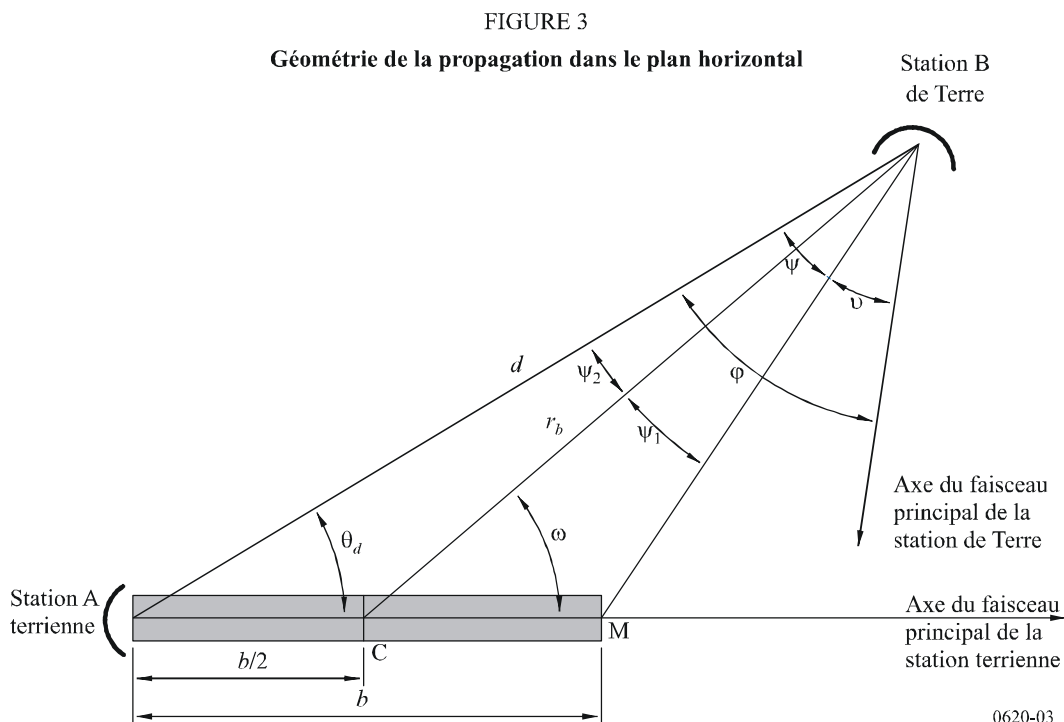


0620-02

#### 4 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. 3 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  $\omega$  depuis le point C, au centre du contour supplémentaire ou principal en mode de propagation (2). Le point C est également le centre du contour auxiliaire.

La zone ombrée dans la Fig. 3 représente la région critique le long de l'axe du faisceau principal de la station terrienne, entre la station terrienne et la hauteur de pluie. Dans cette région un volume commun peut se former entre le faisceau de la station terrienne et le faisceau de toute station de Terre située à l'intérieur du contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2). La longueur de cette région critique est  $b$  et sa portée horizontale maximale est donnée par le point M. Si cette région critique coupe l'axe du faisceau principal de la station de Terre, on observera un brouillage important dû à la diffusion par les hydrométéores par couplage lobe principal-lobe principal.



Pour un point donné à l'intérieur du contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2), l'angle sous-tendu par la région critique est appelé angle critique  $\psi$ . L'angle de protection  $\nu$  est l'angle que forme l'axe du faisceau principal de la station de Terre par rapport à la région critique. L'angle d'évitement du faisceau entre l'axe du faisceau principal de la station de Terre et l'emplacement de la station terrienne est  $\phi$ ; il représente la somme des deux angles  $\psi$  et  $\nu$  et c'est cette quantité qui a une valeur fixe pour un contour auxiliaire donné. On trace chaque contour auxiliaire en faisant varier l'angle  $\omega$  et en calculant la distance,  $r_b$ , depuis le point C jusqu'au contour auxiliaire. Lorsque l'angle  $\omega$  augmente de 0 à 360°, les angles  $\psi$  et  $\nu$  changent mais leur somme reste la même.

On peut utiliser l'algorithme défini au § 4.1 du présent Appendice pour calculer le contour auxiliaire en mode de propagation (2) pour une valeur donnée de l'angle d'évitement du faisceau,  $\phi$ .

La méthode consiste à faire décroître de façon itérative la distance  $r_b$  entre la station de Terre et la station terrienne en partant de la distance  $d_r$  du contour principal donnée par la formule (59) jusqu'à ce que l'on trouve la plus petite valeur de  $r_b$  pour laquelle on atteint l'affaiblissement minimal nécessaire ou la distance de coordination minimale. Pour chaque valeur de  $r_b$  on détermine l'angle critique  $\psi$  puis on calcule l'angle de protection  $\nu$ . Le gain d'antenne de la station de Terre correspondant à  $\nu$  et la distance considérée  $r_b$  sont ensuite utilisés dans la formule (77) pour obtenir l'affaiblissement sur le trajet en mode de propagation (2).

On répète la même opération pour chaque angle  $\omega$  pour tracer un contour auxiliaire complet pour une valeur donnée de l'angle d'évitement du faisceau  $\phi$ . Pour certaines combinaisons de l'angle d'évitement du faisceau et de l'angle  $\omega$ , il se peut qu'un contour auxiliaire coïncide avec le contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2).

#### 4.1 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  $d_e$ ,  $d_e$  étant donné par l'équation (64).



Pour la valeur choisie de l'angle d'évitement du faisceau  $\varphi$ , tracer comme suit le contour auxiliaire pour des valeurs de l'angle  $\omega$  comprises entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$ , par pas de  $1^\circ$ :

- a) Fixer  $r_b$  à la distance,  $d_r$ , du contour principal ou supplémentaire en mode de propagation (2), calculée comme indiqué dans la formule (59).
- b) Calculer  $\psi$  à partir de:

$$\psi_1 = \arctg\left(\frac{b \sin \omega}{2r_b - b \cos \omega}\right) \quad (78)$$

$$\psi_2 = \arctg\left(\frac{b \sin \omega}{2r_b + b \cos \omega}\right) \quad (79)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (80)$$

- 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  $\omega$ ; le calcul de cette valeur  $\omega$  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  $\psi$  en utilisant les équations (78), (79) et (80).
- 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  $\omega$  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  $\nu$  par rapport à l'axe du faisceau en utilisant le diagramme d'antenne de référence donné dans l'Appendice 4.
- i) Dans la formule (77) utiliser le gain calculé à l'Etape h) en lieu et place de  $G_T$  et la valeur nouvelle de  $r_b$ , puis calculer l'affaiblissement correspondant sur le trajet en mode de propagation (2),  $L_r$ . Si  $L_r < L_p(p_2)$ , 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  $\omega$ , calculer l'angle  $\theta_d$  depuis l'emplacement de la station terrienne et, si nécessaire, la distance  $d$  jusqu'à ce point du contour en utilisant:

$$d = 0,5 b \sin \omega / \sin \psi_2 \quad (81)$$

$$\theta_d = \omega - \psi_2 \quad (82)$$

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  $\theta_d$  correspondant aux valeurs de  $\omega$  comprises entre  $181^\circ$  et  $359^\circ$  en notant que les résultats pour une valeur donnée de  $\omega$  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  $\theta_d$  et on peut alors utiliser un pas plus petit.

## Appendice 4 à l'Annexe 1

### Diagrammes de rayonnement de référence pour antennes de faisceaux hertziens en visibilité directe à utiliser pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage dans la gamme de fréquences comprise entre 1 et environ 40 GHz (basé sur la Recommandation UIT-R F.699)

Le présent Appendice décrit un diagramme de rayonnement de référence pour antennes de faisceaux hertziens en visibilité directe à utiliser pour les calculs de la coordination en mode de propagation (2) lorsqu'on ne dispose pas du diagramme d'antenne réel.

Il est essentiel de tout mettre en œuvre pour utiliser le diagramme d'antenne réel pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage; toutefois, si l'on ne dispose pas de ce diagramme, on utilisera le diagramme de rayonnement de référence décrit ci-après pour les fréquences comprises entre 1 et 40 GHz:

- a) Dans le cas où le rapport entre le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde est supérieur à 100, il convient d'utiliser la formule:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{pour} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (83)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{pour} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \quad (84)$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{pour} \quad \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \quad (85)$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{pour} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (86)$$

$$G_1 = 2 + 15 \log \left( \frac{D}{\lambda} \right) \quad (87)$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad (88)$$

$$\varphi_r = 15,85 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad (89)$$

- b) Dans le cas où le rapport entre le diamètre de l'antenne et la longueur d'onde est inférieur ou égal à 100, il convient d'utiliser la formule suivante (voir les Notes 6 et 7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{pour} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \quad (90)$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{pour} \quad \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \quad (91)$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{pour} \quad 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \quad (92)$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{pour} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \quad (93)$$

- c) Dans le cas où seul le gain d'antenne maximal est connu,  $D/\lambda$  peut être évalué à partir de l'expression suivante:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7,7 \quad (94)$$

où  $G_{max}$  est le gain d'antenne dans le lobe principal (dBi);

- d) Dans les cas où seules les ouvertures de faisceau sont connues:

On calculera la valeur du rapport  $D/\lambda$  ( $D$  et  $\lambda$  étant exprimés dans la même unité) à partir de la formule suivante:

$$D/\lambda \approx 69,3 / \theta_{bw} \quad (95)$$

où  $\theta_{bw}$  est l'ouverture (degrés) du faisceau à  $-3$  dB.

La valeur  $G_{max}$  peut être estimée à partir de la formule approchée suivante:

$$G_{max} \text{ (dBi)} \approx 44,5 - 20 \log \theta_{bw} \quad (96)$$

NOTE 1 – Il est essentiel de tout mettre en œuvre pour utiliser le diagramme de rayonnement réel de l'antenne pour les études de coordination et l'évaluation du brouillage.

NOTE 2 – A noter que le diagramme de rayonnement d'une antenne réelle peut être moins bon que le diagramme de rayonnement de référence pour certaines gammes d'angles (voir la Note 3). En conséquence, le diagramme de rayonnement de référence du présent Appendice ne doit pas être interprété comme constituant la limite maximale pour les diagrammes de rayonnement d'antenne de faisceaux hertziens existants ou en projet.

NOTE 3 – Le diagramme de rayonnement de référence doit être utilisé avec prudence pour des angles dans lesquels le système d'alimentation visé risque de donner lieu à des niveaux relativement élevés dus au débordement de l'illumination.

NOTE 4 – Les diagrammes de référence visés aux points a) et b) ne sont applicables qu'à une seule polarisation (horizontale ou verticale). Les diagrammes de référence applicables aux deux polarisations (horizontale et verticale) sont à l'étude.

NOTE 5 – Le diagramme de rayonnement de référence inclus dans le présent Appendice n'est valable que pour les antennes à symétrie de révolution. Le diagramme de rayonnement de référence d'antenne à ouvertures asymétriques nécessite un complément d'étude. Pour de telles antennes, les diagrammes de rayonnement susmentionnés peuvent être considérés comme provisoirement valables.

NOTE 6 – Pour plus d'informations, on trouvera dans la Recommandation UIT-R F.1245 un modèle mathématique de diagrammes de rayonnement moyens à utiliser dans certaines études de coordination et dans l'évaluation du brouillage.

NOTE 7 – Un complément d'étude est nécessaire si l'on veut que des diagrammes de rayonnement de référence continuent d'être élaborés pour tenir compte des progrès réalisés dans la conception des antennes.

NOTE 8 – Bien qu'il soit généralement applicable, le diagramme de référence indiqué aux points a) et b) ne constitue pas un modèle approprié de certaines antennes du service fixe utilisées dans la pratique et doit être traité avec prudence pour certaines gammes d'angles, entre  $5^\circ$  et  $70^\circ$  (voir aussi les Notes 2 et 3).

## Appendice 5 à l'Annexe 1

### Paramètres d'entrée et paramètres calculés

Dans certains cas, un paramètre peut être soit un paramètre d'entrée, soit un paramètre calculé dans la présente Recommandation. La nature des paramètres (d'entrée ou calculés) est indiquée dans le Tableau 3 ci-dessous. On entend par:

- *Paramètre d'entrée*: un paramètre dont la valeur n'est pas indiquée ou qui ne peut pas être obtenue sur la base de cette Recommandation (par exemple fréquence, latitude de la station terrienne, etc.).
- *Paramètre calculé*: paramètre dont la valeur est déterminée, définie (une constante par exemple) ou calculée sur la base de la Recommandation UIT-R P.620, il peut s'agir par exemple de l'intensité de pluie au sol,  $R(p)$  (mm/h) (obtenue au moyen de cartes et de graphiques), de  $d_{max2}$  (paramètre obtenu à l'aide du Tableau 3) de la distance de coordination en mode de propagation (1)  $d_1$  (km) (paramètre calculé) etc.

TABLEAU 3  
Définition des termes

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$A_1$	dB	Composante indépendante de la distance de l'affaiblissement en propagation guidée	Equation (25)	Paramètre calculé
$A_2$	dB	Composante indépendante de la distance de l'affaiblissement en propagation troposphérique	Equation (29)	Paramètre calculé
$A_c$	dB	Correction pour tenir compte du couplage direct dans les conduits maritimes	Equation (24)	Paramètre calculé
$A_d$	dB	Correction pour tenir compte de la distance de l'horizon le long de chaque azimut vu depuis la station terrienne	Equation (10)	Paramètre calculé
$A_g$	dB	Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère pour les calculs en mode de propagation (1) ou (2)	Equations (32) et (76)	Paramètre calculé
$A_h$	dB	Affaiblissement total imputable à l'effet d'écran du terrain le long de chaque azimut vu depuis la station terrienne	Equations (11a) à (11c) § 1 de l'Appendice 2	Paramètre calculé
$A_w$	dB	Affaiblissement dû à la vapeur d'eau sur la partie du trajet avant la distance minimale, en mode (1)	Equation (22b)	Paramètre calculé
$b$	km	Distance horizontale entre la station terrienne et le volume commun le plus éloigné possible, utilisée pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	§ 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$C$	–	Fonction de transfert de diffusion effective utilisée en mode de propagation (2)	Equation (72)	Paramètre calculé
$C_a, C_b$	–	Fonctions de transfert de diffusion effective pour la diffusion au-dessus ou en dessous de la hauteur de pluie	Equations (71) et (70)	Paramètre calculé
$d$	km	Distance entre la station terrienne et un point du contour auxiliaires, utilisée pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	Equation (81) § 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé

TABLEAU 3 (suite)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$d_1$	km	Distance de coordination en mode de propagation (1)	§ 2, 3 et 4 de l'Appendice 2	Paramètre calculé
$d_c$	km	Distance entre la station terrienne et la côte suivant la direction considérée, utilisée pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (24)	Paramètre d'entrée
$d_c$	km	Diamètre de la cellule de pluie, utilisé pour les calculs en mode de propagation (2)	Equation (52)	Paramètre calculé
$d_e$	km	Distance horizontale entre la station terrienne et le bord de la cellule de pluie	Equation (64)	Paramètre calculé
$d_h$	km	Distance de l'horizon radioélectrique, vue depuis le centre de l'antenne de la station terrienne	§ 1 de l'Appendice 2	Paramètre d'entrée
$d_i$	km	Distance courante à partir de la station terrienne utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode (1)	Equations (15), (31) et (48)	Paramètre calculé
$d_{im}$	km	Distance continue la plus grande sur la terre ferme (Zone A2) parmi les distances $d_i$ , utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	§ 4.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée
$d_{max1}$	km	Distance de calcul maximale en mode de propagation (1)	§ 5.2	Paramètre calculé
$d_{max2}$	km	Distance de calcul maximale en mode de propagation (2)	Tableau 2	Paramètre calculé
$d_{min}$	km	Distance de coordination minimale en modes de propagation (1) et (2)	Equations (5a) à (5f)	Paramètre calculé
$d'_{min}$	km	Distance de coordination minimale aux basses fréquences	Equation (4)	Paramètre calculé
$d_{to}, d_{tv}$ $d_{ro}, d_v$	km	Distances utilisées pour calculer l'affaiblissement dû aux gaz pour les calculs en mode (2)	Equations (74a), (74b) (75a) et (75b)	Paramètre calculé
$d_r$	km	Distance depuis la cellule de pluie pour laquelle l'affaiblissement égale ou dépasse l'affaiblissement de transmission requis en mode de propagation (2)	§ 1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$d_{tm}$	km	Distance terrestre (sur la terre ferme et sur la côte) continue la plus grande (Zone A1 + Zone A2) parmi les distances $d_i$ , utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode (1)	§ 4.2 de l'Annexe 1	Paramètre d'entrée
$D$	m	Diamètre d'antenne utilisé pour calculer le diagramme de rayonnement de référence (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$f$	GHz	Fréquence comprise entre 100 MHz et 105 GHz	Non applicable	Paramètre d'entrée
$G(\varphi)$	dB	Gain d'antenne à l'angle hors axe de $\varphi$ déterminé à l'aide du diagramme de rayonnement de l'antenne de référence (Appendice 4)	Equations (83) à (86), (90) à (93)	Paramètre calculé
$G_L$		Terme utilisé pour convertir le pourcentage moyen pour le mois le plus défavorable en pourcentage de temps annuel	Equations (7a) et (7b)	Paramètre calculé

TABLEAU 3 (suite)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$G_1$	dB	Gain d'antenne dans le premier lobe latéral de l'antenne calculé à l'aide du diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Equation (87)	Paramètre calculé
$G_{max}$	dB	Gain d'antenne suivant l'axe, utilisé pour calculer le diagramme de rayonnement de référence (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$G_T$	dB	Gain d'antenne de la station de Terre, supposé être égal à 42 dB et utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode (2)	Equation (57)	Paramètre d'entrée
$h_c$	km	Paramètre utilisé pour les calculs en mode de propagation (2), en fonction de la région considérée à l'intérieur de la cellule de pluie	Equation (65)	Paramètre calculé
$h_m$	km	Altitude au-dessus du sol du point d'intersection des faisceaux pour les calculs de propagation en mode (2)	Equation (60)	Paramètre calculé
$h_R$	km	Hauteur de pluie équivalente au-dessus du sol	Non applicable	Paramètre d'entrée
$L(p_1)$	dB	Affaiblissement de transmission de base minimal admissible requis pendant $p_1\%$ du temps (mode (1))	§ 1	Paramètre d'entrée
$L_b(p_2)$	dB	Affaiblissement de transmission de base minimal admissible requis pendant $p_2\%$ du temps (mode (2))	§ 1	Paramètre d'entrée
$L_b(p_1)$	dB	Affaiblissement dans l'hypothèse d'un trajet en totalité terrestre (Zone A1 ou A2), utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (16)	Paramètre calculé
$L_{bs}(p_1)$	dB	Affaiblissement dans l'hypothèse d'un trajet situé entièrement dans une zone maritime froide (Zone B) ou une zone maritime chaude (Zone C), utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equations (17a) et (17b)	Paramètre calculé
$L_1(p_1)$ $L_2(p_1)$ $L_3(p_1)$ $L_4(p_1)$ $L_5(p_1)$ $L_6(p_1)$ $L_7(p_1)$ $L_8(p_1)$ $L_9(p_1)$	dB dB dB dB dB dB dB dB dB	Affaiblissements utilisés pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equations (14), (18), (26), (30), (40), (41), (46), (47) et (49)	Paramètre calculé
$L_f$	dB	Affaiblissement en fonction de la fréquence utilisé pour calculer la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (28)	Paramètre calculé
$L_r(p_2)$	dB	Affaiblissement de transmission, obtenu en tant que fonction monotone de l'intensité de pluie, $R$ , utilisé pour calculer la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (77)	Paramètre calculé

TABLEAU 3 (suite)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$N_0$	–	Réfractivité au sol ramené au niveau de la mer à mi-trajet	Equation (3)	Paramètre calculé
$p_1$	%	Pourcentage de temps annuel moyen en mode de propagation (1), avec $p_1$ compris entre: 1% et 50% pour $f$ compris entre 100 MHz et 790 MHz 0,001% et 50% pour $f$ compris entre 790 MHz et 105 GHz	Equation (8) du § 6.1	Paramètre d'entrée
$p_{w1}$	%	Pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable en mode de propagation (1)	§ 6.1	Paramètre d'entrée
$p_2$	%	Pourcentage de temps annuel moyen en mode de propagation (2), compris entre 0,001% et 10%	Equation (9) du § 7.2	Paramètre d'entrée ou paramètre calculé
$p_{w2}$	%	Pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable en mode de propagation (2)	§ 7.2	Paramètre d'entrée
$R(p_2)$	mm/h	Intensité de pluie au sol dépassée pendant un pourcentage de temps annuel moyen, $p_2\%$ , utilisée pour les calculs en mode de propagation (2)		Paramètre d'entrée
$r_b$	km	Distance entre le centre du volume commun et le contour auxiliaire, utilisée pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	Equations (78), (79) § 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$r_E$	km	Rayon effectif de la Terre (= 8 500 km)	§ 3 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée
$r_i$	km	Distance courante entre la région de diffusion maximale et l'emplacement supposé d'une station de Terre, utilisée pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (51)	Paramètre calculé
$r_m$	km	Distance de référence pour l'affaiblissement hors du volume de diffusion commun pour le calcul en mode (2)	Equation (54)	Paramètre calculé
$r_r$	km	Longueur du trajet entre le point d'intersection des faisceaux et la station terrienne pour les calculs en mode de propagation (2)	Equation (63)	Paramètre calculé
$r_t$	km	Longueur du trajet entre le point d'intersection des faisceaux et la station de Terre pour les calculs en mode de propagation (2)	Equation (62)	Paramètre calculé
$s$	km	Pas incrémentiel utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination (on recommande une valeur de 1 km)	§ 1	Paramètre d'entrée
$S$	–	Déviations par rapport à la diffusion de Rayleigh, utilisée pour les calculs en mode de propagation (2)	Equation (73)	Paramètre calculé
$\beta$	–	Paramètre utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (38)	Paramètre calculé
$\beta_p$	%	Incidence relative des conditions anormales de propagation par temps clair	Equations (2a) et (2b)	Paramètre calculé
$\delta$	radians	Séparation angulaire au centre de la Terre entre la station terrienne et la droite supportant la distance courante, pour les calculs en mode de propagation (2)	Equation (61)	Paramètre calculé

TABLEAU 3 (suite)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$\varepsilon_L$	–	Tolérance pour les affaiblissements additionnels fonction de la distance et de toutes autres causes, y compris celles associées à la hauteur du terrain	Equation (27)	Paramètre calculé
$\varepsilon$	degrés	Angle d'élévation du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne	§ 3 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée
$\varphi$	degrés	Décalage angulaire par rapport à l'axe du faisceau principal d'antenne, utilisé pour calculer le diagramme de rayonnement de référence (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$\varphi_r$	degrés	Décalage angulaire par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne, utilisé dans le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Equation (89)	Paramètre calculé
$\varphi_m$	degrés	Décalage angulaire par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne, utilisé dans le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Equation (88)	Paramètre calculé
$\Gamma$		Terme utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (39)	Paramètre calculé
$\Gamma_1$	dB	Terme utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (67)	Paramètre calculé
$\Gamma_2$	dB	Terme utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (66)	Paramètre calculé
$\Gamma_a$	dB	Terme utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (69)	Paramètre calculé
$\Gamma_b$	dB	Terme utilisé pour le calcul de la distance de coordination en mode de propagation (2)	Equation (68)	Paramètre calculé
$\gamma_d$	dB/km	Terme d'affaiblissement linéique utilisé dans le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (23)	Paramètre calculé
$\gamma_{gm}$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'absorption par les gaz, utilisé dans la gamme de fréquences 60 GHz-105 GHz	Equation (45)	Paramètre calculé
$\gamma_o$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'air sec	Equations (20) et (55)	Paramètre calculé
$\gamma_{om}$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'air sec utilisé dans la gamme de fréquences 60 GHz-105 GHz	Equations (43a) et (43b)	Paramètre calculé
$\gamma_R$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à la pluie	Appendice 3	Paramètre d'entrée
$\gamma_w$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau	Equation (21)	Paramètre calculé
$\gamma_{wv}$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'absorption par la vapeur d'eau, utilisé dans le modèle de diffusion par les hydrométéores	Equation (56)	Paramètre calculé
$\gamma_{wt}$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'absorption par la vapeur d'eau, utilisé dans le modèle de propagation troposphérique (en supposant une concentration en vapeur d'eau de 3 g/m <sup>3</sup> )	Equation (22a)	Paramètre calculé
$\gamma_{wm}$	dB/km	Affaiblissement linéique dû à l'absorption par la vapeur d'eau, utilisé dans la gamme de fréquences 60 GHz-105 GHz	Equation (44)	Paramètre calculé



TABLEAU 3 (suite)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$\eta$	–	Paramètre intermédiaire pour le calcul en mode de propagation (2)	Equation (53)	Paramètre calculé
$\lambda$	m	Longueur d'onde utilisée pour déterminer le diagramme de rayonnement de référence de l'antenne (Appendice 4)	Appendice 4	Paramètre d'entrée
$\mu_1$	–	Paramètre dépendant de la proportion du trajet qui est terrestre (zones à l'intérieur des terres ou côtière) ou maritime, utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (34)	Paramètre calculé
$\mu_2$	–	Paramètre utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (36)	Paramètre calculé
$\mu_4$	–	Paramètre utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equations (37a) et (37b)	Paramètre calculé
$\theta_d$	degrés	Azimut de la direction du faisceau principal de la station terrienne par rapport à un point du contour auxiliaire, utilisé pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	Equation (82) § 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$\theta_h$	degrés	Angle d'élévation à l'horizon de la station terrienne	§ 1 de l'Appendice 2	Paramètre d'entrée
$\theta_{bw}$	degrés	Ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne, utilisée pour déterminer le diagramme de rayonnement de référence (Appendice 4)	Equations (95) et (96)	Paramètre d'entrée
$\rho$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant 50% du temps	Equations (21) et (56)	Paramètre d'entrée
$\rho_0$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant 50% du temps au niveau de la station terrienne	Equation (22b)	Paramètre d'entrée
$\rho_{dmin}$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant 50% du temps à la distance $d_{min}$ le long de l'azimut approprié	Equation (22b)	Paramètre d'entrée
$\rho_i$	$\text{g/m}^3$	Concentration en vapeur d'eau dans l'atmosphère dépassée pendant 50% du temps pour chaque pas d'itération en mode (1)	Equation (32)	Paramètre d'entrée
$\sigma$	–	Paramètre utilisé pour le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (36)	Paramètre calculé
$\tau$	–	Paramètre utilisé dans le calcul itératif de la distance de coordination en mode de propagation (1)	Equation (33)	Paramètre calculé
$\nu$	degrés	Angle de protection, utilisé pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	Etape g) du § 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$\omega$	degrés	Angle polaire de la station de Terre par rapport au centre du volume commun, utilisé pour calculer les contours auxiliaires en mode de propagation (2)	§ 4 de l'Appendice 3	Paramètre d'entrée

TABLEAU 3 (*fin*)

Paramètre	Unités	Définition	Emplacement	Nature du paramètre
$\psi$	degrés	Angle sous-tendu par la région critique dans laquelle un volume commun peut apparaître entre la station terrienne et le faisceau d'une station de Terre quelconque, en mode de propagation (2)	Equation (80) du § 4.1 de l'Appendice 3	Paramètre calculé
$\zeta$	degrés	Latitude de la station terrienne (positive dans l'hémisphère Nord, négative dans l'hémisphère Sud)	Equations (1a) et (1b)	Paramètre d'entrée
$\zeta_r$	degrés	Latitude, relative à la latitude de la station terrienne, utilisée pour déterminer une valeur appropriée de l'incidence relative des conditions anormales de propagation par temps clair, $\beta_p$	Equations (1a) et (1b)	Paramètre calculé