

RECOMMANDATION UIT-R P.620-3

**DONNÉES SUR LA PROPAGATION NÉCESSAIRES AU CALCUL DES DISTANCES
DE COORDINATION DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES 0,85-60 GHz**

(Question UIT-R 208/3)

(1986-1992-1995-1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) les termes de la Résolution N° 60 de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications (Genève, 1979) (CAMR-79);
- b) 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;
- c) que la détermination de la zone de coordination devrait être fondée sur les meilleures données de propagation disponibles et être effectuée avec prudence,

recommande

1 aux administrations d'utiliser, pour déterminer la zone de coordination, dans le cas des fréquences supérieures à 1 GHz, 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 la station terrienne considérée et les stations de Terre exploitées dans les conditions prudentes spécifiées dans les Tableaux 1 et 2 de la Recommandation UIT-R IS.847, peut être considéré comme négligeable. Pour déterminer la distance de coordination, il est donc indispensable de comparer l'affaiblissement de transmission requis 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.

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 appliquant la Recommandation UIT-R P.452, le brouillage potentiel entre la station terrienne et des stations de Terre quelconques.

En plus de la méthode de calcul du contour principal de coordination, la présente Recommandation fournit maintenant, au § 5, 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 principal.

2 Considérations générales

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). 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 correspondant à l'affaiblissement de transmission spécifié; la «distance de coordination» sera la plus grande des deux distances calculées. La Recommandation UIT-R IS.847 donne toutes les indications utiles sur l'affaiblissement de transmission à utiliser.

La distance de coordination dans une direction donnée est déterminée à partir d'un certain nombre de paramètres indiqués ci-dessus, fondés seulement sur des paramètres de propagation, et les distances pourraient s'étendre d'une distance relativement très voisine de la station terrienne à plusieurs centaines de kilomètres. Cependant, pour des raisons pratiques, il est nécessaire de fixer, pour les deux modes de propagation, des limites inférieures à la distance en deçà de laquelle on recherchera les cas de brouillage potentiel. Ces distances sont définies comme les distances de coordination minimales pour les modes 1 et 2, respectivement.

Dans le cas du mode 1, la nécessité d'une limite inférieure de précaution provient du risque d'erreurs significatives dans la détermination de l'affaiblissement de propagation (dû particulièrement au mécanisme de propagation par diffraction) pour des distances relativement courtes alors que les détails de la géométrie réelle du trajet ne sont pas connus. En conséquence, il faut que la distance de coordination soit suffisamment grande pour que les champs de diffraction soient négligeables dans tous les cas de trajets susceptibles de se rencontrer en pratique.

Pour le mode 2, la nécessité d'une distance minimale provient du fait que les hypothèses inhérentes à la modélisation de la propagation par diffusion par les hydrométéores deviennent sujettes à caution aux distances très courtes. Si les distances de coordination sont conservées à une valeur égale ou supérieure à un minimum fixé à l'avance, le modèle ne sera pas appliqué dans la région où il induirait des erreurs.

Les valeurs des distances minimales de coordination appropriées sont fournies, pour chacun des modes, dans les paragraphes qui suivent. Bien entendu, tous les points du contour de coordination globale défini par les distances de coordination déterminées radialement autour de la station terrienne doivent être à une distance supérieure aux «distances minimales» si les calculs de propagation les déterminent.

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

3.1 Renseignements radioclimatiques

Pour calculer la distance de coordination pour le mode de propagation (1), on a divisé la Terre en fonction d'un paramètre radiométéorologique, β_p , qui représente l'influence relative des conditions anormales de propagation par temps clair. La valeur de β_p dépend de la latitude. La valeur correcte de β_p est celle qui correspond à la latitude φ_r du point qui se trouve plus proche de l'équateur de $1,8^\circ$ que la station terrienne, ou bien à l'équateur si la station terrienne se trouve à moins de $1,8^\circ$ de ce même équateur.

L'influence relative de la propagation anormale en un point, β_p %, est alors déterminé par la relation:

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

3.2 Distances de coordination basées sur des pourcentages de temps pour le mois le plus défavorable

Les calculs de propagation effectués au § 3.3 sont basés sur le pourcentage moyen de temps annuel, p . Dans les cas où il est nécessaire de fonder la coordination sur un pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable, p_w , le pourcentage de temps annuel équivalent, p , exigé par la méthode peut être déterminé à partir de la formule suivante:

$$p = \frac{p_w}{Q} \quad \% \quad (2)$$

où:

p_w : pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable:

$$Q = \frac{0,85 \times 10^{-0,184 \log p + 0,515}}{G_L} \quad (2a)$$

La valeur de Q doit être inférieure ou égale à 12.

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

3.3 Procédure pour le calcul de la distance de coordination pour le mode (1)

La distance de coordination pour le mode de propagation 1 est la distance d_1 (km) pour laquelle la valeur de l'affaiblissement de propagation de référence est égale à celle de l'affaiblissement de propagation minimal admissible $L_b(p)$ où p est ici le pourcentage de temps donné, limité au domaine $0,001\% \leq p \leq 1\%$.

Soit la relation:

$$L_1(p) = L_b(p) - A_1 \quad \text{dB} \quad (3)$$

dans laquelle:

$$A_1 = 122,43 + 16,5 \log f + A_h + A_c \quad \text{dB} \quad (4)$$

où:

f : fréquence (GHz)

A_h : terme de correction pour l'angle d'élévation de l'horizon θ° (voir la Note 1) vu depuis la station terrienne, donné par l'expression:

$$A_h = \begin{cases} 20 \log \left[1 + 4,5 \theta f^{1/2} \right] + \theta f^{1/3} & \text{dB} & \text{pour } \theta \geq 0^\circ \\ 3 \left(\sqrt{f} - 1 \right) \theta & \text{dB} & \text{pour } 0^\circ > \theta \geq -0,5^\circ \\ -1,5 \left(\sqrt{f} - 1 \right) & \text{dB} & \text{pour } \theta < -0,5^\circ \end{cases} \quad (5)$$

NOTE 1 – On définit ici l'angle d'élévation de l'horizon comme étant 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 θ est positive lorsque 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° . Toutefois, il faut s'efforcer de définir et de prendre en considération les angles d'élévation de l'horizon minimaux qui peuvent être situés entre les azimuts examinés par pas de 5° .

NOTE 2 – La valeur maximale de A_h est 30 dB; la protection peut ne pas être réalisée dans des cas pratiques si on utilise des valeurs plus grandes.

A_c : terme de correction (dB) pour le couplage direct dans des conduits maritimes:

$$A_c = -6 / (1 + d_c) \quad \text{dB} \quad (6)$$

où d_c est la distance entre la station terrienne et la côte, dans la direction considérée.

Lorsque L_1 aura été déterminée, la distance cherchée doit être calculée par itération. En commençant à la distance minimale de coordination, d_{min} (km), la distance à partir de la station terrienne est incrémentée jusqu'à ce que l'on obtienne l'affaiblissement de propagation requis (voir la Note 3). La distance d'incrément, s (km), généralement choisie est de 1 km. Cependant, pour des calculs préliminaires rapides, on peut utiliser des pas plus grands, jusqu'à 5 km, sans provoquer une diminution excessive de la précision.

$$d_{min} = 100 + \frac{\beta_p - f}{2} \quad \text{km} \quad (7)$$

NOTE 3 – Les méthodes numériques modernes peuvent offrir, pour les calculs informatiques, des techniques plus rapides que cette simple incrémentation de la distance pour déterminer d_1 . On devrait explorer l'emploi de telles techniques lorsque la vitesse de calcul est importante.

Pour les itérations $i = 0, 1, \dots, n$, on applique les équations (9) à (19) jusqu'à la valeur n telle que $L_2(p) \geq L_1(p)$ ou telle que la distance de coordination maximale, d_{max} (km), donnée par l'équation (19) pour l'azimut considéré soit atteinte.

La distance de coordination d_1 cherchée est alors donnée par:

$$d_1 = \begin{cases} d_{min} + n \cdot s & \text{km} & \text{pour } d_n < d_{max} \\ d_{max} & \text{km} & \text{pour } d_n \geq d_{max} \end{cases} \quad (8)$$

L'affaiblissement L_2 est calculé à partir de la relation:

$$L_2(p) = (\gamma_d + \gamma_g) d_i + (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) \log(p/\beta) + 12(p/\beta)^\Gamma \quad \text{dB} \quad (9)$$

où:

d_i : distance courante (km) à partir de la station terrienne:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad \text{km} \quad (10)$$

γ_g : affaiblissement linéique (dB/km) dû à l'absorption par les gaz:

$$\gamma_g = \gamma_o + \gamma_w \cdot \frac{1}{3} \left(4 - \frac{d_t}{d_i} \right) \quad \text{dB/km} \quad (11)$$

γ_o et γ_w peuvent être obtenus à partir des équations de la Recommandation UIT-R P.676, en utilisant une valeur de 7,5 g/m³ pour la concentration en vapeur d'eau, ρ .

$$\gamma_d = 0,05 f^{1/3} \quad \text{dB/km} \quad (12)$$

d_t : distance terrestre composite courante (km); (Zone A1 + Zone A2) comprise dans la distance d_i :

$$\Gamma = \left[\frac{-1,079 + \log \left(142 - (1,2 + 3,7 \times 10^{-3} d_i) (2 - \log \beta) \right)}{2 - \log \beta} \right] \quad (13)$$

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \quad \% \quad (14)$$

où la valeur de β_p est donnée par la relation (1).

Le paramètre μ_1 dépend de la proportion du trajet qui est terrestre (zones à l'intérieur des terres ou côtières) ou maritime; il est donné par la relation:

$$\mu_1 = \left[10^{\frac{-d_m}{16 - 6,6\tau}} + \left[10^{-(0,496 + 0,354\tau)} \right]^5 \right]^{0,2} \quad (15)$$

avec:

$$\tau = \left[1 - e^{-\left(4,12 \times 10^{-4} d_{lm}^{2,41}\right)} \right] \quad (16)$$

où la valeur de μ_1 sera inférieure ou égale à 1;

et où:

d_{lm} : distance à l'intérieur des terres continue la plus longue (km) (Zone A2) à l'intérieur de la distance d_i

d_{tm} : distance terrestre continue la plus longue (correspondant aux zones situées à l'intérieur des terres et aux zones côtières) (km) (Zone A1 + Zone A2) à l'intérieur de la distance d_i .

Les zones radioclimatiques à utiliser pour obtenir d_{tm} et d_{lm} sont définies dans le Tableau 1.

où:

$$\mu_2 = \left[2,48 \times 10^{-4} d_i^2 \right]^\alpha \quad (17)$$

$$\alpha = -0,6 - \varepsilon \times 10^{-9} d_i^{3,1} \cdot \tau \quad (17a)$$

où ε est une tolérance pour des affaiblissements additionnels fonction de la distance et de toutes autres causes, y compris ceux qui sont associés à la hauteur du terrain:

$\varepsilon = 3,5$ correspond à l'hypothèse la plus défavorable de Terre régulière;

$\varepsilon = 8,5$ correspond à des contours de coordination prudents dans les zones situées à l'intérieur des terres, ces contours étant compatibles avec les données sur la propagation mesurées mais avec une faible tolérance pour une hauteur de dégagement minimale admise (définie par le paramètre h_m dans la Recommandation UIT-R P.452), à savoir: $h_m = 70$ m à 300 km, 180 m à 400 km et 415 m à 500 km;

$\varepsilon = 200$ correspond à des distances de coordination réduites dans des zones situées à l'intérieur des terres, ces distances étant très similaires à celles qui sont données dans l'Appendice 28 (S7) du Règlement des radio-communications.

La fonction d'extrapolation des distances de coordination dans les zones situées à l'intérieur des terres est pratiquement proportionnelle au logarithme de ε .

NOTE 4 – ε n'a aucune incidence sur les distances de coordination dans les zones côtières ou maritimes.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0,935 + 0,0176|\varphi_r|)\log\mu_1} & \text{pour } |\varphi_r| \leq 70^\circ \\ 10^{0,3\log\mu_1} & \text{pour } |\varphi_r| > 70^\circ \end{cases} \quad (18)$$

La distance de coordination maximale pour le mode de propagation 1 est donnée par:

$$d_{max} = 230 + 970 \cdot \mu_1 \cdot \mu_4 \quad \text{km} \quad (19)$$

d_{max} doit être recalculé avec les valeurs courantes de μ_1 et de μ_4 pour chaque valeur de d_i .

TABLEAU 1

Zones radioclimatiques

Type de zone	Code	Définition
Zone côtière	A1	Zones côtières et littorales, c'est-à-dire terres adjacentes à la mer jusqu'à une altitude de 100 m par rapport au niveau moyen de la mer ou des eaux, mais limitée à une distance de 50 km à partir de la zone d'eau la plus proche. Lorsqu'on ne dispose pas de données précises sur la courbe de niveau 100 m, on pourra utiliser une valeur approchée, par exemple 300 pieds
Zone située à l'intérieur des terres	A2	Toutes les terres, autres que les zones côtières et littorales visées dans la Zone A1 ci-dessus
Mer	B	Mers, océans et vastes étendues d'eau (c'est-à-dire couvrant un cercle d'au moins 100 km de diamètre)

Vastes étendues d'eaux intérieures

Une «vaste» étendue d'eaux intérieures, pour être considérée comme appartenant à la Zone B est définie, pour la détermination administrative de la coordination, comme une étendue d'au moins 7 800 km², mais en excluant les zones de rivières. Les îles dans de telles étendues d'eau doivent être considérées comme de l'eau dans le calcul de cette surface si leurs altitudes sont inférieures à 100 m au-dessus du niveau moyen de l'eau pour plus de 90% de leur surface. Les îles qui ne remplissent pas ces conditions seront considérées comme des terres lors du calcul de la surface des étendues d'eau.

Vastes étendues contenant des lacs intérieurs ou des terres humides

Les administrations doivent déclarer comme Zone côtière A1 les vastes zones situées à l'intérieur des terres, de surface supérieure à 7 800 km², qui contiennent de nombreux petits lacs ou un réseau de rivières si cette région comporte plus de 50% de surface d'eau et si plus de 90% de la terre est à moins de 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'eaux à l'intérieur des terres et les vastes étendues contenant des lacs intérieurs et des terres humides. C'est pourquoi il est demandé aux administrations de déclarer au Bureau des radiocommunications (BR) de l'UIT les régions intérieures à leurs frontières dont ils souhaitent qu'elles soient identifiées comme appartenant à l'une de ces catégories. En l'absence de cette déclaration, toutes les zones terrestres seront considérées comme appartenant à la Zone climatique A2.

Pour que les résultats des diverses administrations soient les plus homogènes possible, il est recommandé de fonder les calculs de cette procédure sur la carte mondiale numérisée de l'UIT-R (IDWM) qui est disponible à l'UIT pour utilisation avec des ordinateurs centraux ou personnels.

4 Détermination du contour de coordination pour le mode de propagation 2 – Diffusion par les hydrométéores

4.1 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, côtières et maritimes ne convient plus.

Pour déterminer la distance de coordination pour le mode 2, il convient d'utiliser la procédure suivante, avec les renseignements complémentaires qui figurent à l'Appendice 1.

4.2 Distances de coordination basées sur les pourcentages de temps du mois le plus défavorable

Les calculs de propagation effectués au § 4.3 ci-dessous sont basés sur le pourcentage moyen de temps annuel, p . Dans les cas où il est nécessaire de fonder la coordination sur un pourcentage de temps pour le mois le plus défavorable, p_w , le pourcentage de temps annuel équivalent, p , requis par la méthode peut être déterminé en utilisant la méthode donnée dans la Recommandation UIT-R P.841 pour la catégorie Mondial.

4.3 Détermination du contour de coordination pour le mode de propagation 2

Les renseignements sont présentés sous la forme des formules fondamentales décrivant la relation entre l'intensité de pluie, l'affaiblissement de transmission et la distance de diffusion par la pluie. Ces formules permettent d'exprimer l'affaiblissement de transmission en fonction de l'intensité de pluie pour une distance donnée quelconque, à l'aide des distributions cumulatives d'intensité de pluie dans les diverses zones hydrométéorologiques indiquées dans l'Appendice 1.

L'affaiblissement de transmission peut être calculé en fonction de la distance r (km) (voir la Note 1), la fréquence f (GHz) et l'intensité de pluie R (mm/h), à l'aide de la formule suivante:

$$L = 168 + 20 \log r - 20 \log f - 13,2 \log R - g_T + 10 \log A_b - 10 \log C + \Gamma + E + \gamma_o d_0 + \gamma_w d_v \quad \text{dB} \quad (20)$$

où:

R : intensité de pluie au sol (mm/h), indiquée dans l'Appendice 1 pour les diverses zones radiométéorologiques

g_T : gain d'antenne de la station de Terre (dB), qui est supposé égal à 42 dB

et:

$$10 \log A_b = \begin{cases} 0,005 (f - 10)^{1,7} R^{0,4} & \text{dB} & \text{pour } 10 \text{ GHz} < f < 40 \text{ GHz} & (21) \\ 0 & \text{dB} & \text{pour } f < 10 \text{ GHz} \text{ ou lorsque } E \neq 0 & (21a) \end{cases}$$

C s'obtient par la formule:

$$C = \begin{cases} \frac{2,17}{\gamma_R d_s} \left(1 - 10^{-\gamma_R d_s / 5}\right) & \text{pour } f > 4 \text{ GHz} & (22) \\ 1 & \text{pour } f < 4 \text{ GHz} & (22a) \end{cases}$$

γ_R s'obtient par la formule:

$$\gamma_R = k R^\alpha \quad \text{dB} \quad (23)$$

NOTE 1 – r est la distance entre la région de diffusion maximale et l'emplacement d'une éventuelle station de Terre.

Le Tableau 2 fournit les valeurs de k et α pour la polarisation verticale (qui donne l'affaiblissement linéique minimal).

De plus:

$$d_s = 3,5 R^{-0,08} \quad \text{km} \quad (24)$$

où:

$$\Gamma = 631 k R^{(\alpha-0,5)} \times 10^{-(R+1)^{0,19}} \quad \text{dB} \quad (25)$$

E : perte en couplage par diffusion pour les hauteurs supérieures à la couche de fusion, donnée par:

$$E = \begin{cases} 6,5 \left[6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} - H_{FR} \right] & \text{dB} & \text{pour } 6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} > H_{FR} & (26) \\ 0 & \text{dB} & \text{pour } 6 (r - 50)^2 \times 10^{-5} \leq H_{FR} & (26a) \end{cases}$$

où:

H_{FR} : altitude moyenne annuelle de pluie (km) dans la région de la station terrienne, définie dans la Recommandation UIT-R P.839.

$$d_0 = \begin{cases} 0,7 r + 32 & \text{km} & \text{pour } r < 340 \text{ km} & (27) \\ 270 & \text{km} & \text{pour } r \geq 340 \text{ km} & (27a) \end{cases}$$

$$d_v = \begin{cases} 0,7 r + 32 & \text{km} & \text{pour } r < 240 \text{ km} & (28) \\ 200 & \text{km} & \text{pour } r \geq 240 \text{ km} & (28a) \end{cases}$$

TABLEAU 2

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

Fréquence (GHz)	k	α
<1	0	0
1	0,000 0352	0,880
4	0,000 591	1,075
6	0,001 55	1,265
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

Les formules de l'affaiblissement linéique dû aux gaz, γ_o (pour l'air sec) et γ_w (pour la vapeur d'eau), sont données dans la Recommandation UIT-R P.676. L'affaiblissement linéique dû à la vapeur d'eau γ_w est à calculer en supposant une concentration en vapeur d'eau de $\rho = 7,5 \text{ g/m}^3$.

La formule (20) permet d'obtenir l'affaiblissement de transmission, L , en tant que fonction monotone de l'intensité de pluie, R , avec la distance de diffusion par les hydrométéores, r , comme paramètre. La procédure pour déterminer le contour de diffusion par les hydrométéores est la suivante:

- Déterminer la valeur de R pour le pourcentage de temps requis, p , et la zone hydroclimatique appropriée de A à Q, à partir des données de l'Appendice 1.
- Calculer alors les valeurs de L en incrémentant r à partir de 45 km. La valeur correcte de r est celle pour laquelle la valeur de L correspondante égale ou dépasse l'affaiblissement de transmission requis. Cette valeur de r est notée d_r .
- Si, lors du calcul itératif, r égale ou dépasse la distance maximale appropriée donnée au Tableau 3, arrêter le calcul et prendre pour d_r cette valeur maximale.

TABLEAU 3

Distances maximales de diffusion par les hydrométéores (km)

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

- d) Déterminer un point à une distance Δd dans l'azimut du faisceau de la station terrienne. Cette distance peut être calculée par la formule:

$$\Delta d = \frac{H_{FR}}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_s} \quad \text{km} \quad (29)$$

où ε_s est l'angle d'élévation du faisceau de la station terrienne.

- e) Tracer un cercle de rayon d_r autour de ce point. C'est le contour de coordination pour la diffusion par les hydrométéores (contour de propagation pour le mode de propagation 2). La distance de coordination pour le mode de propagation 2 dans un azimut donné à partir de la station terrienne est la distance de cette station au contour de coordination dans cet azimut, notée d_2 .

Comme la diffusion par les hydrométéores ne se manifeste notablement que dans la région proche de la station terrienne, le problème de l'affaiblissement sur des trajets mixtes ne se pose pas.

5 Contours auxiliaires

5.1 Généralités

Les contours de coordination, ainsi que les contours de coordination supplémentaires décrits dans la Recommandation UIT-R IS.847 sont fondés sur les hypothèses les plus défavorables concernant la géométrie du brouillage. En pratique, de telles hypothèses s'appliquent rarement et des contours auxiliaires sont tracés pour permettre de ne pas tenir compte des stations de Terre pour lesquelles ne s'appliquent pas les hypothèses extrêmes, par exemple celles dont le gain d'antenne ou la p.i.r.e. de la station de Terre dans la direction de la station terrienne sont inférieurs à ceux admis aux § 3 et 4.

Pour le mode 1, les contours auxiliaires sont directement dérivés des niveaux de puissance réduits. Par contre, les contours auxiliaires pour le mode 2 sont tracés non pour des niveaux de puissance différents, mais 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. Lorsqu'une station terrienne doit être coordonnée avec un groupe de stations de Terre, il est nécessaire de tenir compte des paramètres réels des stations de Terre et de tracer un contour de coordination supplémentaire correspondant à ces paramètres. Si quelques-unes des stations de Terre se trouvent à l'intérieur du contour supplémentaire, on peut poursuivre l'élimination en utilisant des contours auxiliaires qui doivent être tracés pour les paramètres réels du groupe des stations de Terre. En d'autres termes, l'application de ces contours s'avère plus utile en conjonction avec le contour supplémentaire qu'avec le contour principal.

5.2 Conditions d'air clair (mode 1)

Les contours auxiliaires seront tracés en introduisant dans l'équation (3) un affaiblissement réduit de 5, 10, 15, 20 dB, etc., dans l'affaiblissement de propagation requis, jusqu'à la distance de coordination minimale.

5.3 Diffusion par les hydrométéores (mode 2)

Le contour de coordination pour le mode de propagation 2 autour d'une station terrienne est calculé pour le cas le plus défavorable, à savoir que la station de Terre et la station terrienne sont directement pointées l'une vers l'autre et que les deux faisceaux principaux se coupent exactement. Il en résulte une grande zone de coordination à l'intérieur de laquelle doivent être calculés de façon détaillée les niveaux de brouillage par 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 est peu probable que les lobes principaux des antennes se couperont exactement. Dans les deux cas, il est possible de tracer des contours auxiliaires qui détermineront des zones plus petites que la zone de coordination. Dans l'Appendice 2 est indiquée la marche à suivre pour déterminer les contours auxiliaires en fonction de l'angle de dépointage, φ . Toute station qui se trouve 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 2, la distance de coordination minimale est déterminée par des critères différents de ceux du mode 1 et on la prendra égale à 45 km. Les contours auxiliaires pour le mode 2 seront préparés pour des angles de dépointage de 2°, 5°, 10°, 20° et 30°, et pour des angles supplémentaires si nécessaire. On utilisera des contours auxiliaires dans le cas d'antennes de stations de Terre en conformité avec la Recommandation UIT-R F.699.

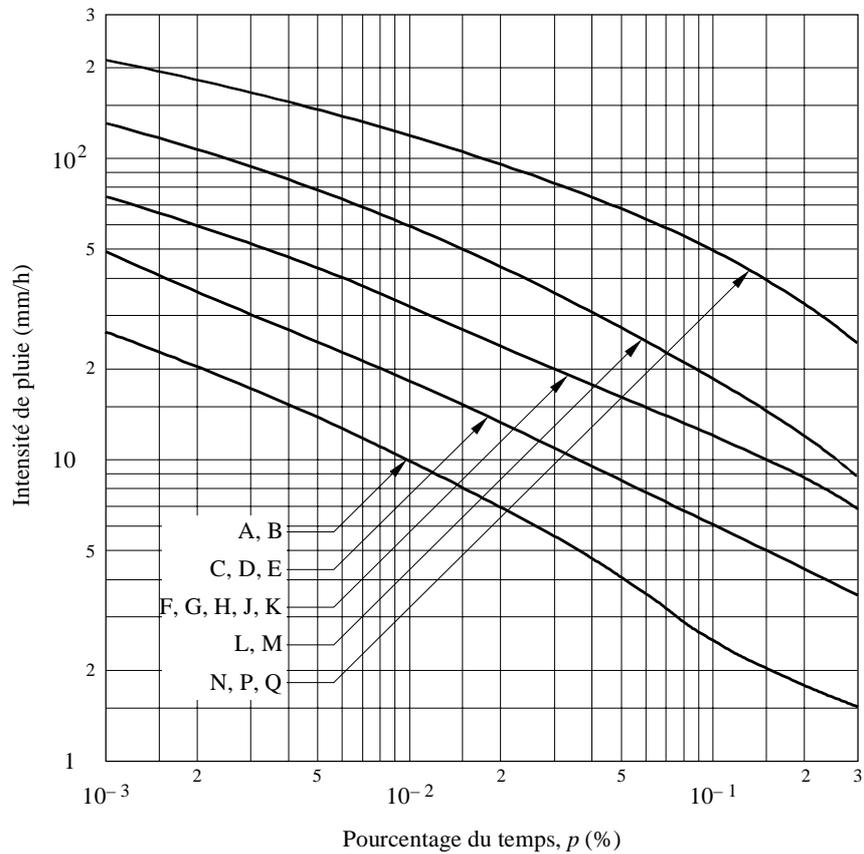
APPENDICE 1
DE L'ANNEXE 1

Classification des zones hydrométéorologiques

Comme le montre la Recommandation UIT-R P.837, le monde est divisé en plusieurs zones hydrométéorologiques qui diffèrent les unes des autres au point de vue des caractéristiques des précipitations. Les courbes de la Fig. 1 indiquent la distribution composite de l'intensité de pluie; chacune de ces courbes est applicable à plusieurs climats hydrométéorologiques et sont fondées sur les distributions d'intensité de pluie que définit la Recommandation UIT-R P.837.

FIGURE 1

Distributions cumulatives composites de l'intensité de pluie pour les zones hydrométéorologiques selon la Recommandation UIT-R P.837



0620-01

On a étendu les distributions de la Fig. 1 au-delà de 0,3% jusqu'aux pourcentages supérieurs de temps p_c auxquels l'intensité de pluie est censée approcher de zéro, à l'aide de la formule:

$$R(p) = R(0,3\%) \left[\frac{\log(p_c/p)}{\log(p_c/0,3)} \right]^2 \quad \text{mm/h} \quad (30)$$

dans laquelle on a utilisé, 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 la pluie. Toutefois, elle ne concerne que les fréquences supérieures à 8 GHz.

Pour l'évaluation numérique de $R(p)$ pour $0,001\% < p < 0,3\%$, on a converti les courbes de la Fig. 1 en formules (31) à (35).

Climats A, B

$$R(p) = 1,1 p^{-0,465} + 0,25 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] - \left[\log(p / 0,1) + 1,1 \right]^{-2} \quad \text{mm/h} \quad (31)$$

Climats C, D, E

$$R(p) = 2 p^{-0,466} + 0,5 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (32)$$

Climats F, G, H, J, K

$$R(p) = 4,17 p^{-0,418} + 1,6 \left[\log(p / 0,001) \log^3(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (33)$$

Climats L, M

$$R(p) = 4,9 p^{-0,48} + 6,5 \left[\log(p / 0,001) \log^2(0,3 / p) \right] \quad \text{mm/h} \quad (34)$$

Climats N, P, Q

$$R(p) = 15,6 \left(p^{-0,383} + \left[\log(p / 0,001) \log^{1,5}(0,3 / p) \right] \right) \quad \text{mm/h} \quad (35)$$

APPENDICE 2

DE L'ANNEXE 1

Calcul des contours auxiliaires pour le mode de propagation 2

Le Tableau 4 donne la définition des termes utilisés dans cet Appendice. La Fig. 2 représente la projection sur le plan horizontal de la diffusion par les hydrométéores. A est la station terrienne, B, la station de Terre en une position arbitraire, X et Y représentent les emplacements de la station de Terre qui correspondent aux distances maximale et minimale respectivement par rapport au centre du contour et M est la dimension horizontale maximale du volume potentiel (CV) commun.

TABLEAU 4

Termes relatifs à la diffusion par les hydrométéores

H_{FR}	Hauteur de la cellule de pluie
r_b	Distance entre le centre du volume commun et le contour auxiliaire
b	Distance horizontale entre la station terrienne et le volume commun le plus éloigné possible
ε_s	Angle d'élévation de la station terrienne
α	Angle polaire de la station de Terre par rapport au centre du volume commun
ψ	Angle sous-tendu par b , à la station de Terre (angle de vue)
δ	Angle de protection minimum requis
φ	Angle de dépointage (= $\psi + \delta$)
d	Distance de la station terrienne à un point du contour auxiliaire
θ_d	Azimut de la direction du faisceau de la station terrienne par rapport à un point du contour auxiliaire

La partie ombrée de la Fig. 2 représente la région critique le long du faisceau de la station terrienne qui, s'il est intersecté par le faisceau de la station de Terre produira un brouillage significatif dû à la diffusion par les hydrométéores par suite du couplage lobe principal à lobe principal. Cette région critique dont la dimension est représentée par b sur la Figure est limitée d'un côté par la station terrienne et de l'autre par la hauteur de la cellule de pluie H_{FR} maximale. Pour un point donné à l'intérieur de la zone de coordination, l'angle sous-tendu par cette région est appelé l'angle de vue, ψ . L'angle de protection, δ , est l'angle du faisceau de la station de Terre en dehors de la région critique. L'angle de dépointage, φ , est la somme des deux angles ψ et δ et c'est cette quantité φ qui reste fixe le long de son contour auxiliaire propre.

Le point de référence du contour est au centre du volume commun (à une distance $b/2$ de la station terrienne). Chaque contour est engendré en faisant varier l'angle polaire, α , et en tirant les valeurs correspondantes de r_b . Lorsque α varie de 0° à 360° , les angles ψ et δ augmentent et diminuent mais leur somme reste la même. Une station de Terre est dans sa position la plus favorable lorsque $\alpha = 0$ (position Y), l'angle de protection atteint alors son maximum. La distance entre le centre du volume commun et la station de Terre atteint alors une valeur minimale, dénotée $r_{b\ min}$ sur la Figure. A l'opposé, lorsque $\alpha = 90^\circ$ (position X), l'angle de vue atteint sa valeur maximale, l'angle de protection sera à son minimum et r_b atteindra sa valeur la plus grande $r_{b\ max}$ pour le contour.

1 Les différentes étapes de l'algorithme

L'algorithme suivant peut être utilisé pour le calcul du contour de coordination auxiliaire pour le mode 2, pour une valeur donnée de l'angle de dépointage φ :

- Les limites de l'angle de protection minimum, δ_0 , sont:

$$\delta_{0\ min} = 1,0^\circ$$

$$\delta_{0\ max} = 48,0^\circ$$

- Calculer b en utilisant la relation:

$$b = H_{FR} \cotg \varepsilon_s \quad (36)$$

- Calculer comme suit la valeur de δ_0 qui correspond à la valeur φ choisie:

a) Prendre $\delta_0 = \delta_{0\ min}$.

b) Calculer le gain de lobe latéral de l'émetteur pour cet angle, δ_0 , par rapport à l'angle de visée conformément à la Recommandation UIT-R F.699.

c) Utiliser le gain résultant à la place du paramètre g_T dans l'équation (20) pour calculer la distance maximale, $r_{b\ max}$, pour le contour auxiliaire, pour le seuil de l'affaiblissement de transmission requis.

d) Calculer ψ_0 en utilisant la relation:

$$\psi_0 = 2 \arcsin \left(\frac{b/2}{r_{b\ max}} \right) \quad (37)$$

- e) Calculer l'angle de dépointage, φ' , pour la valeur de δ_0 choisie en utilisant la relation:

$$\varphi' = \psi_0 + \delta_0 \quad (38)$$

- f) Si $|\varphi' - \varphi| > 0,01 \varphi$, utiliser la technique de dichotomie classique pour déterminer une nouvelle valeur pour δ_0 et répéter l'opération depuis l'étape b) jusqu'à obtenir la convergence définie par $|\varphi' - \varphi| \leq 0,01 \varphi$.

- g) Utiliser désormais la valeur finale de δ_0 et de $r_{b \max}$.

- Déduire $r_{b \min}$ de la façon suivante:

- a) Calculer le gain du lobe latéral de l'antenne pour la valeur de φ ci-dessus conformément à la Recommandation UIT-R F.699.

- b) Utiliser le gain du lobe latéral à la place du paramètre g_T dans l'équation (20) pour calculer la distance pour le contour auxiliaire, pour le seuil de l'affaiblissement de transmission requis. Cette distance est $r_{b \min}$.

- Construire comme suit le contour pour des valeurs de α variant de 0° à 180° par pas de 1° :

- a) Prendre $r_b = 0,5 (r_{b \min} + r_{b \max})$.

- b) Calculer ψ d'après la relation:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (39)$$

où:

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

et:

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

- c) Calculer $\delta = \varphi - \psi$.

- d) Calculer $G(\delta)$ conformément à la Recommandation UIT-R F.699.

- e) Utiliser le gain de lobe latéral résultant, $G(\delta)$, à la place du paramètre g_T dans l'équation (20), pour calculer la distance r'_b , pour le seuil de l'affaiblissement de transmission requis.

- f) Si $|r'_b - r_b| < 0,5 \text{ km}$, on a trouvé la valeur cherchée.

Sinon, on donne une nouvelle valeur à r_b :

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b \max}) \quad \text{pour } r'_b > r_b$$

$$r_b = 0,5 (r_b + r_{b \min}) \quad \text{pour } r'_b \leq r_b$$

et on répète l'opération depuis l'étape b) jusqu'à f).

- Lorsque la valeur de r_b a été déterminée, calculer la distance, d , et l'azimut, θ_d , à partir de l'emplacement de la station terrienne vis à un point du contour, en utilisant les relations:

$$d = 0,5 b \sin \alpha / \sin \psi_2 \quad (40)$$

$$\theta_d = \arcsin (r_b \sin \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{pour } (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) > 0 \quad (41a)$$

$$\theta_d = \pi - \arcsin (r_b \sin \psi_2 / 0,5 b) \quad \text{pour } (d^2 - r_b^2 + 0,25 b^2) / (b d) \leq 0 \quad (41b)$$

- On trouvera les valeurs de r_b pour α comprises entre 181° et 359° en utilisant la relation symétrique:

$$r_b(\alpha) = r_b(-\alpha) = r_b(360^\circ - \alpha) \quad (42)$$

FIGURE 2
Géométrie de la propagation dans le plan horizontal

