

RECOMMANDATION UIT-R F.1404*

AFFAIBLISSEMENT MINIMAL DE PROPAGATION SUR TRAJET OBLIQUE, DÛ AUX GAZ ATMOSPHÉRIQUES, À UTILISER POUR LES ÉTUDES DE PARTAGE DE FRÉQUENCES ENTRE SYSTÈMES DU SERVICE FIXE ET SYSTÈMES DES SERVICES DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE, MOBILE PAR SATELLITE ET SCIENTIFIQUES SPATIAUX

(Questions UIT-R 111/9, UIT-R 113/9 et UIT-R 163/9)

(1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'affaiblissement sur trajet oblique entre une station de Terre et une station spatiale (géostationnaire (OSG) ou non OSG), dû à l'absorption par les gaz atmosphériques et notamment par la vapeur d'eau, est un facteur important pour les études de partage de fréquences entre les systèmes du service fixe et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (SRS), du service mobile par satellite (SMS) et des services scientifiques spatiaux;
- b) que l'affaiblissement sur trajet oblique dépend de la distribution le long du trajet de paramètres météorologiques tels que la température, la pression et l'humidité et que de ce fait, il varie en fonction du lieu géographique du site, du mois de l'année, de l'altitude de la station du service fixe au-dessus du niveau de la mer et de l'angle d'élévation du trajet oblique;
- c) que l'affaiblissement sur trajet oblique peut être déterminé à partir de la méthode décrite dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676, mais qu'il est souhaitable de disposer d'une méthode simple permettant d'évaluer cet affaiblissement;
- d) que pour les études de partage de fréquences, il est nécessaire de définir les paramètres correspondant au mois le plus sec au niveau de la mer pour chaque zone climatique, en s'inspirant de la Recommandation UIT-R P.835;
- e) que l'affaiblissement sur trajet oblique est une fonction complexe de la fréquence et qu'il convient de choisir pour chaque bande de fréquences, une fréquence représentative donnant l'affaiblissement le plus faible,

recommande

1 pour les études de partage de fréquences entre systèmes du service fixe et systèmes du SRS, du SMS et des services scientifiques spatiaux dans chaque bande de fréquences, de calculer l'affaiblissement sur trajet oblique dû à l'absorption par les gaz atmosphériques et notamment par la vapeur d'eau (voir la Note 1), en utilisant une fréquence représentative correspondant à l'affaiblissement le plus faible dans la bande considérée;

2 d'utiliser la méthode décrite en Annexe 1 pour l'estimation de l'affaiblissement sur trajet oblique dû à l'absorption par les gaz atmosphériques (voir les Notes 2, 3 et 4).

NOTE 1 – Les informations contenues dans la présente Recommandation ne sont valables que pour les études de partage de fréquences, car elles ne traitent que de l'affaiblissement sur trajet oblique pendant le mois le plus sec.

NOTE 2 – Pour de plus amples détails, on pourra se reporter à la Recommandation UIT-R P.676.

NOTE 3 – Les informations contenues dans la présente Recommandation s'inspirent de celles données dans les Recommandations UIT-R P.676-3 (Genève, 1997) et UIT-R P.835-2 (Genève, 1997).

NOTE 4 – La Recommandation UIT-R SF.1395 donne une formule approximative de calcul de l'affaiblissement minimal sur trajet oblique dû à l'absorption atmosphérique pour les bandes de fréquences utilisées en partage par le service fixe et le SFS.

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention des Commissions d'études 3 (Groupe de travail (GT) 3J), 7 (GT 7D), 8 (GT 8D), 10 et 11 (GTM 10-11S) des radiocommunications.

Calcul de l'affaiblissement de propagation sur trajet oblique, dû aux gaz atmosphériques, à utiliser pour les études de partage de fréquences entre les systèmes du service fixe et les systèmes du SRS, du SMS et des services scientifiques spatiaux

1 Introduction

L'affaiblissement sur trajet oblique entre une station de Terre et une station spatiale (OSG ou non OSG), dû à l'absorption par les gaz atmosphériques et notamment par la vapeur d'eau, est un facteur important pour les études de partage de fréquences entre systèmes du service fixe et systèmes du SRS, du SMS et des services scientifiques spatiaux. Cet affaiblissement dépend de la distribution le long du trajet de paramètres météorologiques tels que la température, la pression et l'humidité, et varie en fonction du lieu géographique du site, du mois de l'année, de l'altitude de la station du service fixe au-dessus du niveau de la mer et de l'angle d'élévation du trajet oblique ainsi que de la fréquence de fonctionnement. La méthode de calcul de l'affaiblissement sur trajet oblique est exactement celle qui est décrite dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676.

Pour les calculs détaillés de l'affaiblissement atmosphérique, il est possible d'utiliser des informations locales sur la concentration moyenne en vapeur d'eau pendant le mois le plus sec et d'autres paramètres météorologiques ainsi que les atmosphères de référence décrits dans la Recommandation UIT-R P.835. Lorsque ces informations ne sont pas disponibles, les résultats ci-dessous permettent une évaluation simple de l'affaiblissement atmosphérique.

Dans les formules du § 2, on considère chaque bande de fréquences attribuée en partage au service fixe et à l'un des services suivants: SRS, SMS ou services scientifiques spatiaux et on présente cinq zones géographiques représentatives dans le monde (hémisphères Nord et Sud).

2 Estimation de l'affaiblissement sur trajet oblique

Pour les besoins de cette estimation simplifiée, on suppose que la station du service fixe se trouve dans l'une des trois zones climatiques ne dépendant que de la latitude (en valeur absolue) de la station:

- latitude faible inférieure à 22,5° par rapport à l'équateur;
- latitude moyenne supérieure à 22,5° mais inférieure à 45° depuis l'équateur;
- latitude élevée 45° ou plus depuis l'équateur.

Le Tableau 1 donne les valeurs des paramètres climatiques pour chacune de ces zones. Il convient de noter que la densité de la vapeur d'eau au niveau de la mer pour la zone à faible latitude est inférieure à celle indiquée dans la Recommandation UIT-R P.835 qui correspond à la saison sèche. Les affaiblissements pour ces zones ont été déterminés en fonction de l'angle d'élévation du trajet de transmission réel depuis la station du service fixe jusqu'à la position de la station spatiale (OSG ou non OSG). Les formules donnant, dans les paragraphes qui suivent, l'affaiblissement atmosphérique sont une approximation des valeurs théoriques.

Dans ces formules:

- $A_L(h, \theta)$, $A_M(h, \theta)$ et $A_H(h, \theta)$: affaiblissement total d'absorption atmosphérique (dB) pour les zones de faible, de moyenne ou de haute latitude, respectivement
- h et θ : altitude de l'antenne du service fixe au-dessus du niveau de la mer (km) et angle d'élévation (degrés).

TABLEAU 1

Valeur des paramètres au niveau de la mer pour les zones climatiques

Zone climatique	Température (K)	Pression atmosphérique (hPa)	Densité de la vapeur d'eau (g/m ³)
Latitude faible	300,4	1 012,0	10,0
Latitude moyenne	272,7	1 018,9	3,5
Latitude élevée	257,4	1 010,8	1,23

La méthode décrite dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676 a été utilisée pour l'intégration. Les profils de température, de pression et de densité de vapeur d'eau en fonction de l'altitude tels qu'ils sont définis dans la Recommandation UIT-R. P.835 ont été utilisés pour le calcul de l'affaiblissement. L'approximation a été effectuée pour $0 \leq h \leq 3$ km et $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$.

L'angle d'élévation réel peut être déterminé à partir de l'angle d'élévation obtenu dans des conditions de propagation en espace libre au moyen de la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R F.1333. Pour des angles d'élévation réels en dessous de 0° , la valeur d'affaiblissement pour 0° doit être utilisée.

NOTE 1 – Dans certaines situations, il peut être nécessaire d'évaluer l'affaiblissement à une fréquence spécifique sur la base des formules ci-dessous. Par exemple, s'il est nécessaire de déterminer l'affaiblissement dans la zone de faible latitude à 36,5 GHz, il est possible de faire le calcul par interpolation de l'affaiblissement à 36,0 GHz (voir l'équation (9a)) et de celui à 37,0 GHz (voir l'équation (10a)). Toutefois, pour qu'une telle interpolation soit suffisamment précise, les deux fréquences représentatives adjacentes doivent être suffisamment proches l'une de l'autre. En outre, il faut être particulièrement prudent au voisinage de 22,24 GHz (fréquence de résonance de la vapeur d'eau) où l'interpolation linéaire peut ne pas s'appliquer.

2.1 Bande de fréquences 11,7-12,75 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 11,7 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 3,84 / [1 + 0,8598 \theta + h(0,2815 + 0,3031 \theta) + 0,1148 h^2] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 3,23 / [1 + 0,7585 \theta + h(0,4154 + 0,2232 \theta)] \quad (1b)$$

$$A_H(h, \theta) = 3,12 / [1 + 0,7487 \theta + h(0,3792 + 0,2102 \theta)] \quad (1c)$$

2.2 Bandes de fréquences 18,6-18,8 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées et, par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 18,6 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 15,16 / [1 + 0,9258 \theta + 0,03625 \theta^2 + h(0,2981 + 0,4352 \theta) + h^2(0,2429 + 0,1330 \theta)] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 7,98 / [1 + 0,9103 \theta + h(0,2862 + 0,4112 \theta) + 0,1469 h^2] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 5,67 / [1 + 0,8172 \theta + h(0,2017 + 0,3017 \theta) + 0,1057 h^2] \quad (2c)$$

2.3 Bande de fréquences 21,2-21,4 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 21,2 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 38,08 / [1 + 0,8485 \theta + 0,06485 \theta^2 - 0,002121 \theta^3 + 0,1669 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2934 + 0,3816 \theta) + h^2(0,09441 + 0,1701 \theta) + 0,04082 h^3] \quad (3a)$$

$$A_M(h, \theta) = 16,70 / [1 + 0,8126 \theta + 0,02719 \theta^2 + h(0,2395 + 0,2772 \theta) + h^2(0,1180 + 0,08558 \theta)] \quad (3b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,66 / [1 + 0,6721 \theta + 0,04348 \theta^2 + h(0,07322 + 0,3655 \theta) + 0,1177 h^2] \quad (3c)$$

2.4 Bande de fréquences 21,4-22,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 21,4 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 40,39 / [1 + 0,8413 \theta + 0,06418 \theta^2 - 0,002095 \theta^3 + 0,1646 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2871 + 0,3732 \theta) + h^2(0,09311 + 0,1638 \theta) + 0,03859 h^3] \quad (4a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,59 / [1 + 0,8066 \theta + 0,02682 \theta^2 + h(0,2354 + 0,2699 \theta) + h^2(0,1135 + 0,08342 \theta)] \quad (4b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,08 / [1 + 0,6205 \theta + 0,04369 \theta^2 + h(0,06793 + 0,3605 \theta) + 0,1155 h^2] \quad (4c)$$

2.5 Bande de fréquences 22,21-22,5 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est maximal à 22,24 GHz en raison de la résonance de la vapeur d'eau et minimal à 22,5 GHz et, par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 22,5 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 47,88 / [1 + 0,78405 \theta + 0,10659 \theta^2 - 0,0091566 \theta^3 + 0,30002 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,40272 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,18706 \times 10^{-7} \theta^6 + h(0,29782 + 0,30275 \theta) + h^2(0,066824 + 0,17983 \theta) + 0,038747 h^3] \quad (5a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,36 / [1 + 0,7223 \theta + 0,06031 \theta^2 - 0,001980 \theta^3 + 0,1572 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2053 + 0,2374 \theta) + h^2(0,1101 + 0,08933 \theta)] \quad (5b)$$

$$A_H(h, \theta) = 11,55 / [1 + 0,6073 \theta + 0,04379 \theta^2 + h(0,05750 + 0,3490 \theta) + 0,1102 h^2] \quad (5c)$$

2.6 Bandes de fréquences 23,6-24,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est moins important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 24,0 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 40,20 / [1 + 0,8774 \theta + 0,06742 \theta^2 - 0,002221 \theta^3 + 0,1759 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,3193 + 0,4177 \theta) + h^2(0,1014 + 0,1945 \theta) + 0,05008 h^3] \quad (6a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,88 / [1 + 0,8377 \theta + 0,02861 \theta^2 + h(0,2587 + 0,3070 \theta) + h^2(0,1362 + 0,09479 \theta)] \quad (6b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,51 / [1 + 0,6504 \theta + 0,04326 \theta^2 + h(0,08915 + 0,3870 \theta) + 0,1285 h^2] \quad (6c)$$

2.7 Bande de fréquences 25,25-27,5 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est moins important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 27,5 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 22,73 / [1 + 0,9463 \theta + 0,03455 \theta^2 + h(0,3232 + 0,4519 \theta) + h^2(0,2486 + 0,1317 \theta)] \quad (7a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,96 / [1 + 0,8121 \theta + 0,03055 \theta^2 + h(0,2619 + 0,4728 \theta) + 0,1490 h^2] \quad (7b)$$

$$A_H(h, \theta) = 8,77 / [1 + 0,8259 \theta + h(0,2163 + 0,3037 \theta) + 0,1067 h^2] \quad (7c)$$

2.8 Bande de fréquences 31,8-33,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 31,8 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 19,55 / [1 + 0,9263 \theta + 0,02442 \theta^2 + h(0,3399 + 0,4324 \theta) + h^2(0,1898 + 0,07463 \theta)] \quad (8a)$$

$$A_M(h, \theta) = 12,04 / [1 + 0,8112 \theta + 0,01934 \theta^2 + h(0,2740 + 0,3825 \theta) + 0,1155 h^2] \quad (8b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,90 / [1 + 0,8140 \theta + h(0,2401 + 0,2679 \theta) + 0,08673 h^2] \quad (8c)$$

2.9 Bande de fréquences 36,0-37,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 36,0 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 21,60 / [1 + 0,8102 \theta + 0,05726 \theta^2 - 0,001887 \theta^3 + 0,1488 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2731 + 0,5166 \theta) + 0,1884 h^2] \quad (9a)$$

$$A_M(h, \theta) = 15,00 / [1 + 0,8197 \theta + 0,01342 \theta^2 + h(0,3078 + 0,2651 \theta) + h^2(0,07561 + 0,03399 \theta)] \quad (9b)$$

$$A_H(h, \theta) = 12,80 / [1 + 0,7376 \theta + 0,01588 \theta^2 + h(0,2185 + 0,2806 \theta) + 0,07660 h^2] \quad (9c)$$

2.10 Bande de fréquences 37,0-38,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 37,0 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 22,63 / [1 + 0,8064 \theta + 0,05519 \theta^2 - 0,001808 \theta^3 + 0,1416 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2740 + 0,4986 \theta) + 0,1789 h^2] \quad (10a)$$

$$A_M(h, \theta) = 16,03 / [1 + 0,8146 \theta + 0,01315 \theta^2 + h(0,3044 + 0,2598 \theta) + h^2(0,07308 + 0,03276 \theta)] \quad (10b)$$

$$A_H(h, \theta) = 13,85 / [1 + 0,7369 \theta + 0,01556 \theta^2 + h(0,2197 + 0,2771 \theta) + 0,07495 h^2] \quad (10c)$$

2.11 Bande de fréquences 39,5-40,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 39,5 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 26,03 / [1 + 0,7941 \theta + 0,05051 \theta^2 - 0,001631 \theta^3 + 0,1259 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2739 + 0,4541 \theta) + 0,1562 h^2] \quad (11a)$$

$$A_M(h, \theta) = 19,39 / [1 + 0,8019 \theta + 0,01254 \theta^2 + h(0,2957 + 0,2470 \theta) + h^2(0,06718 + 0,03002 \theta)] \quad (11b)$$

$$A_H(h, \theta) = 17,46 / [1 + 0,7615 \theta + 0,01187 \theta^2 + h(0,2619 + 0,2041 \theta) + h^2(0,05213 + 0,02735 \theta)] \quad (11c)$$

2.12 Bande de fréquences 40,0-40,5 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 40,0 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 26,87 / [1 + 0,7912 \theta + 0,04963 \theta^2 - 0,001599 \theta^3 + 0,1230 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2735 + 0,4451 \theta) + 0,1517 h^2] \quad (12a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,23 / [1 + 0,7993 \theta + 0,01243 \theta^2 + h(0,2939 + 0,2444 \theta) + h^2(0,06605 + 0,02951 \theta)] \quad (12b)$$

$$A_H(h, \theta) = 18,33 / [1 + 0,7608 \theta + 0,01179 \theta^2 + h(0,2620 + 0,2033 \theta) + h^2(0,05148 + 0,02706 \theta)] \quad (12c)$$

2.13 Bande de fréquences 40,5-42,5 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est plus important aux fréquences élevées, et par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 40,5 GHz:

$$A_L(h, \theta) = 27,78 / [1 + 0,7880 \theta + 0,04877 \theta^2 - 0,001566 \theta^3 + 0,1202 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2729 + 0,4361 \theta) + 0,1473 h^2] \quad (13a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,76 / [1 + 0,6980 \theta + 0,04731 \theta^2 - 0,001508 \theta^3 + 0,1157 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2497 + 0,3257 \theta) + 0,07995 h^2] \quad (13b)$$

$$A_H(h, \theta) = 18,92 / [1 + 0,6577 \theta + 0,04678 \theta^2 - 0,001484 \theta^3 + 0,1139 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,2200 + 0,2811 \theta) + 0,06507 h^2] \quad (13c)$$

2.14 Bande de fréquences 55,78-59,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement zénithal par absorption d'oxygène depuis le sol au niveau de la mer dépasse 50 dB (voir la Recommandation UIT-R P.676). En conséquence, il n'est pas nécessaire d'envisager d'imposer des contraintes pour le partage de fréquences entre le service fixe et les services scientifiques spatiaux.

2.15 Bande de fréquences 64,0-66,0 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est moins important aux fréquences élevées et, par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 66,0 GHz:

$$\begin{aligned}
 A_L(h, \theta) = & 528,4 / [1 + 0,568865 \theta + 0,0640672 \theta^2 - 0,00696532 \theta^3 \\
 & + 0,385420 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,114133 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,181220 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,145280 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,461010 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,178140 + 0,117782 \theta + 0,00785552 \theta^2 - 0,228606 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,159694 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0367537 + 0,0186594 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14a}$$

$$\begin{aligned}
 A_M(h, \theta) = & 522,9 / [1 + 0,596648 \theta + 0,0698675 \theta^2 - 0,00806908 \theta^3 \\
 & + 0,466138 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,141814 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,229255 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,186157 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,596475 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,205676 + 0,125103 \theta + 0,0107935 \theta^2 - 0,326445 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,235065 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0399720 + 0,0251223 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14b}$$

$$\begin{aligned}
 A_H(h, \theta) = & 531,9 / [1 + 0,616560 \theta + 0,0701934 \theta^2 - 0,00821842 \theta^3 \\
 & + 0,476119 \times 10^{-3} \theta^4 - 0,143928 \times 10^{-4} \theta^5 + 0,230683 \times 10^{-6} \theta^6 \\
 & - 0,185825 \times 10^{-8} \theta^7 + 0,591348 \times 10^{-11} \theta^8 \\
 & + h (0,224143 + 0,119089 \theta + 0,0133543 \theta^2 - 0,416213 \times 10^{-3} \theta^3 \\
 & + 0,308010 \times 10^{-5} \theta^4) + h^2 (0,0388456 + 0,0290534 \theta)]
 \end{aligned} \tag{14c}$$
