

RECOMMANDATION UIT-R F.1820

Puissance surfacique aux frontières internationales pour les stations placées sur des plates-formes à haute altitude fournissant des services d'accès hertziens fixes en vue de protéger le service fixe dans les pays voisins dans les bandes 47,2-47,5 et 47,9-48,2 GHz

(Question UIT-R 212/9)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation fournit des valeurs de puissance surfacique destinées à protéger des stations classiques du service fixe dans les administrations de pays voisins contre les brouillages dans le même canal causés par une station placée sur une plate-forme à haute altitude (HAPS) fonctionnant dans les bandes de fréquences 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz.

Abréviations

RAC Zone de couverture rurale (*rural area coverage*)

SAC Zone de couverture suburbaine (*suburban area coverage*)

UAC Zone de couverture urbaine (*urban area coverage*)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nouvelles techniques faisant intervenir des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) situées dans la stratosphère sont en cours de mise au point;
- b) que la CMR-97 a désigné les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz pour quelles soient utilisées en tant que service fixe à titre primaire avec égalité des droits aux fins du déploiement de stations HAPS;
- c) que la Recommandation UIT-R F.1500 expose les caractéristiques des systèmes du service fixe qu'il est prévu d'utiliser pour les stations HAPS dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 48,2-48,5 GHz;
- d) que, si la décision de déployer des stations HAPS peut être prise au niveau national, ce déploiement risque d'avoir des incidences sur les administrations de pays voisins, en particulier des petits pays,

recommande

1 que, pour protéger les stations classiques du service fixe dans les administrations de pays voisins contre les brouillages dans le même canal sur la base de la méthode décrite dans l'Annexe 1, la puissance surfacique produite par une station HAPS fonctionnant dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz ne dépasse pas les valeurs indiquées ci-après, à la surface de la Terre en dehors des frontières d'une administration, à moins que l'accord exprès de l'administration affectée n'ait été obtenu au moment de la notification du système HAPS:

-141	dB(W/(m ² · MHz))	pour 0° ≤ θ ≤ 3°
-141 + 2,0(θ - 3)	dB(W/(m ² · MHz))	pour 3° < θ ≤ 13°
-121	dB(W/(m ² · MHz))	pour 13° < θ ≤ 90°

où θ est l'angle d'incidence au-dessus du plan horizontal de la Terre.

Annexe 1

Méthode permettant de déterminer des valeurs de puissance surfacique aux frontières internationales pour des stations HAPS fournissant des services d'accès hertzien fixe afin de protéger le service fixe dans les pays voisins dans les bandes 47,2-47,5 et 47,9-48,2 GHz

1 Introduction

La présente Annexe décrit une méthode permettant de définir des valeurs de puissance surfacique aux frontières internationales pour des stations HAPS fournissant des services d'accès hertzien fixe (FWA), afin de protéger des stations classiques du service fixe dans des pays voisins dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz et de fixer les limites de puissance surfacique aux frontières internationales pour des stations HAPS, sur la base des caractéristiques des stations HAPS indiquées dans la Recommandation UIT-R F.1500.

2 Caractéristiques du système

2.1 Système de plate-forme à haute altitude

Les paramètres utilisés dans la présente analyse sont indiqués dans la Recommandation UIT-R F.1500 et sont les suivants:

TABLEAU 1
Zones de couverture HAPS

Zone de couverture	Angles d'élévation (degrés)	Portée au sol (plate-forme à 21 km) (km)
UAC	90-30	0-36
SAC	30-15	36-76,5
RAC	15-5	76,5-203

TABLEAU 2
Paramètres de l'émetteur de la station de plate-forme

Communication avec	Puissance d'émission (dBW)	Gain d'antenne (dBi) ⁽¹⁾
UAC	1,3	30
SAC	1,3	30
RAC	3,5	38
Passerelle (UAC)	0	35
Passerelle (SAC)	9,7	38

⁽¹⁾ Gain d'antenne maximal.

2.2 Diagrammes de rayonnement d'antenne

Les diagrammes de rayonnement des antennes de plate-forme sont conformes à la Recommandation UIT-R S.672.

2.3 Affaiblissement atmosphérique

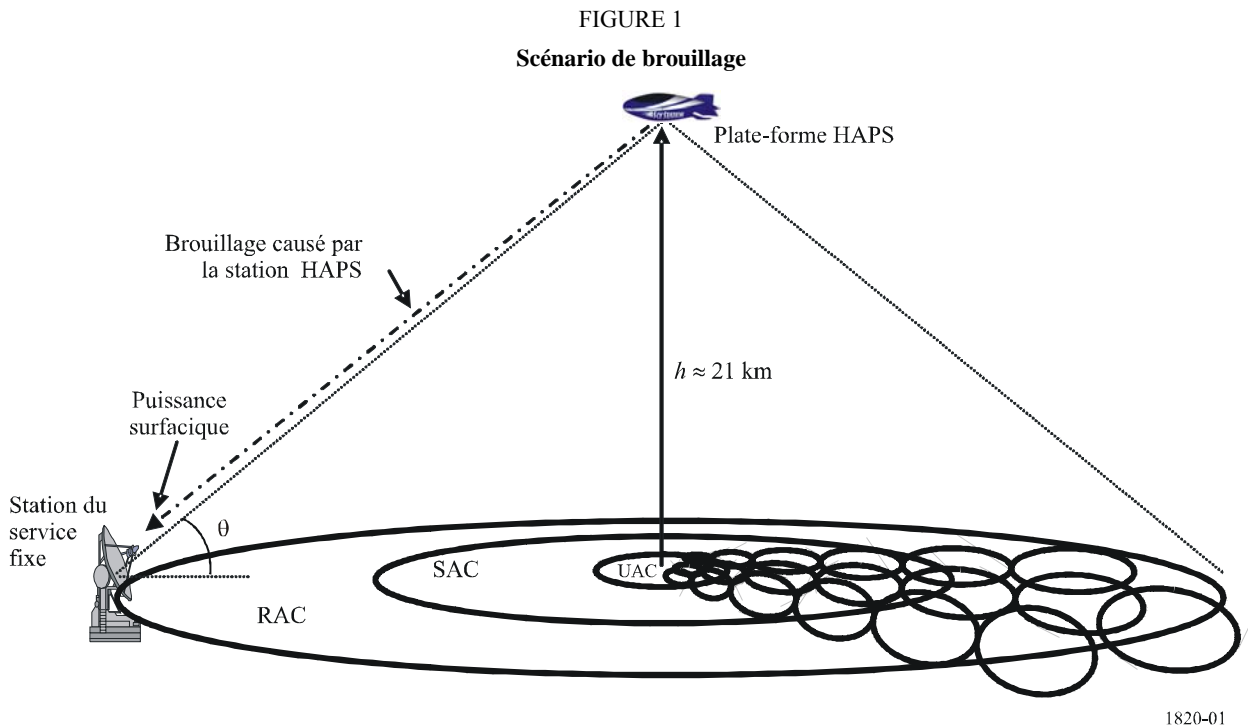
Les formules permettant de calculer l'affaiblissement atmosphérique sont tirées de la Recommandation UIT-R F.1501. Pour l'analyse de brouillages, seule la formule concernant l'affaiblissement minimal présente de l'intérêt, de sorte que l'on choisit la formule applicable aux régions situées aux latitudes élevées à 47,2 GHz pour obtenir une analyse du cas le plus défavorable.

$$A_H(h, \theta) = 46,70/[1 + 0,6872\theta + 0,03637\theta^2 - 0,001105\theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5}\theta^4 + h(0,2472 + 0,1819\theta) + h^2(0,04858 + 0,03221\theta)] \quad (1)$$

Cette formule est valable pour $0 \leq h \leq 3$ km et $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, où θ (degrés) est l'angle d'élévation de la station au sol par rapport à la plate-forme HAPS, et où h (km) est l'altitude de la station au sol au-dessus du niveau de la mer. Pour les angles d'élévation réels au-dessus de 0° , il convient d'utiliser l'affaiblissement à 0° .

2.4 Scénario de brouillage

On admet que le scénario de brouillage est celui indiqué sur la Fig. 1. Selon ce scénario, la station du service fixe d'une administration d'un pays adjacent qui reçoit le signal de brouillage émis par la station HAPS est située soit à la limite, soit au-delà de la limite de la couverture de cette station. Le signal de brouillage cumulatif émis par la station HAPS, depuis tous les émetteurs à bord de cette station, est calculé de façon à obtenir une limite de puissance surfacique.



Les sigles UAC, SAC et RAC désignent respectivement la couverture urbaine, suburbaine et rurale assurée par les stations HAPS.

On peut calculer la valeur prévue de la puissance surfacique reçue au niveau du récepteur de la station au sol au moyen de la formule (2) utilisée dans la Recommandation UIT-R SF.1481-1:

$$fdr = P + Gt - Ltf - La - Lp - 10 \log B - 10 \log (4\pi d^2) - 60 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (2)$$

où:

- fdr : puissance surfacique prévue de la porteuse à la réception (dB(W/(m² · MHz)))
- P : puissance d'émission à la sortie (dBW)
- B : largeur de bande d'émission à la sortie (dB/MHz)
- Gt : gain de l'antenne d'émission (dBi)
- Ltf : affaiblissement d'alimentation de l'antenne (dB)
- Gr : gain de l'antenne de réception (dBi)

- L_a : absorption atmosphérique pour un angle d'élévation donné (dB)
- L_p : affaiblissement dû à d'autres effets de la propagation (dB)
- λ : longueur d'onde (m)
- d : distance entre la station HAPS et le récepteur au sol (km).

On peut déduire le niveau admissible de la puissance surfacique pour la station du service fixe à partir des caractéristiques types d'une station du service fixe, comme indiqué dans le Tableau 3 (Tableau 27, Recommandation UIT-R F.758-4):

TABLEAU 3
Paramètres du récepteur du SF

Gain d'antenne maximal (dBi)	46
Diamètre d'antenne (m)	0,9
Facteur de bruit du récepteur (dB)	5
Modulation	MAQ 256
Bande de fréquences (GHz)	47,2-50,2
Largeur de bande FI du récepteur (MHz)	50
Brouillage nominal à long terme (dBW)	-132
Critère de brouillage déduit (dB(W/MHz))	-149

Le critère de brouillage indiqué dans le Tableau 3 correspond essentiellement au bruit thermique du récepteur moins le critère de 10 dB qui garantit que la dégradation du rapport signal/bruit reçu ne dépasse pas 0,4 dB. Afin d'estimer la limite de puissance surfacique, il convient de calculer l'ouverture équivalente d'une antenne idéale présentant le même gain d'antenne, à l'aide de la formule suivante:

$$D_{effective} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 10^{0,05 \cdot G_{FS}} \quad (3)$$

où D est le diamètre de l'ouverture équivalente de l'antenne idéale, G_{FS} est le gain d'antenne maximal effectif et λ est la longueur d'onde de la puissance RF transmise. On peut déterminer de la façon suivante la limite de puissance surfacique dans le cas de brouillages dans l'axe causés par une plate-forme HAPS:

$$\begin{aligned} PFD_{limit} &= (Interference_criterion) - 10 \log \left(\frac{\pi \cdot D_{effective}^2}{4} \right) \\ &= (Interference_criterion) - G_{FS} - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \\ &= -140,02 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \end{aligned} \quad (4)$$

Pour calculer le niveau de brouillage cumulatif causé par une plate-forme HAPS, il faut tout d'abord calculer la fonction caractéristique du réseau pour obtenir le gain d'antenne d'émission équivalent G_t donné dans la formule (5).

On calcule la fonction caractéristique du réseau en supposant que les antennes HAPS sont disposées sous la forme d'une grille hexagonale sur une surface hémisphérique, sachant que le réseau d'antenne ne couvrira pas la totalité de l'hémisphère, même avec un angle d'élévation minimal nul, si bien que ce calcul correspond à une limite supérieure de la limite de puissance surfacique. Une autre hypothèse simplificatrice consiste à remplacer toutes les autres antennes RAC par des antennes SAC présentant un gain plus faible, à l'exception de celle qui pointe directement vers le récepteur au sol brouillé. Cette hypothèse a pour conséquence d'accroître le couplage du faisceau adjacent dans le même canal, étant donné que l'antenne de gain inférieur a des lobes latéraux plus importants. On utilise un plan de réutilisation des fréquences à 7 cellules conformément à la Recommandation UIT-R F.1500.

On trouvera dans les Fig. 2 et 3 un exemple de calcul de la fonction caractéristique du réseau d'une plate-forme HAPS avec les paramètres fondés sur le Tableau 3, si ce n'est que les gains d'antenne dans les zones UAC et SAC peuvent varier de 10 dB de moins aux valeurs non modifiées indiquées dans le Tableau 3.

Le nombre total d'antennes dépend évidemment de l'ouverture du faisceau de l'antenne individuelle. Plus cette ouverture est grande, plus le nombre d'antennes est limité, comme le démontre la Fig. 2. Le nombre d'antennes du réseau est déterminé lors du calcul, par l'ouverture du faisceau, de l'antenne individuelle, étant donné que les faisceaux sont séparés les uns des autres par l'ouverture du faisceau à -3 dB, de façon à obtenir une couverture uniforme optimale. En conséquence, plus le gain d'antenne unique est faible, plus le nombre d'antennes est petit.

Si toutes les antennes du faisceau présentent le même gain, on obtient l'approximation suivante:

$$\text{Number_of_antennas} \approx \frac{1 - \sin(\theta_{\text{elevation}})}{1 - \cos\left(\frac{\theta_{\text{beamwidth}}}{2}\right)}$$

où $\theta_{\text{elevation}}$ est l'angle d'élévation minimal du réseau et $\theta_{\text{beamwidth}}$ est l'ouverture du faisceau à -3 dBi de l'antenne individuelle. Il apparaît que plus le gain de l'antenne individuelle est élevé, plus l'ouverture à mi-faisceau est petite, de sorte qu'il faut prévoir un plus grand nombre d'antennes pour assurer une couverture à -3 dB. Si l'on utilise moins d'antennes, les faisceaux adjacents se recouperont au-dessous du niveau à -3 dBi, ce qui aura pour conséquence une couverture médiocre à la limite de la zone. Les valeurs indiquées sur la Fig. 2 proviennent d'une simulation réelle, de sorte qu'elles sont légèrement différentes de la formule ci-dessus.

On calcule la fonction caractéristique du réseau de la Fig. 3 en additionnant toutes les contributions provenant de l'émission dans les lobes latéraux des autres antennes, en plus de la contribution de l'axe de visée fournie par l'antenne qui pointe vers la station au sol du service fixe, puis on le divise par le gain d'antenne dans l'axe de visée. A l'aide de la fonction caractéristique du réseau, on peut calculer la puissance surfacique à partir de la formule de l'antenne unique (5), en remplaçant le gain de l'antenne unique par le gain d'antenne multiplié par la fonction caractéristique du réseau.

Etant donné que la fonction caractéristique du réseau calculée est d'environ 1,1, cela signifie que le gain équivalent de l'antenne unique devrait être de l'ordre de 11 000 ou 40,4 dBi.

Plus particulièrement:

$$\text{Array_factor} = \frac{\sum G_n(\psi_n)}{G_0(0)} \quad (5)$$

où $G_0(0)$ correspond au gain dans l'axe de visée de l'antenne HAPS qui pointait directement vers la station du service fixe, les autres plages de valeurs n correspondant à toutes les autres antennes cocanal. Pour les antennes cocanal, les gains d'antenne sont les gains dans les lobes latéraux aux angles appropriés.

FIGURE 2

Nombre d'antennes en fonction du gain d'antenne unique

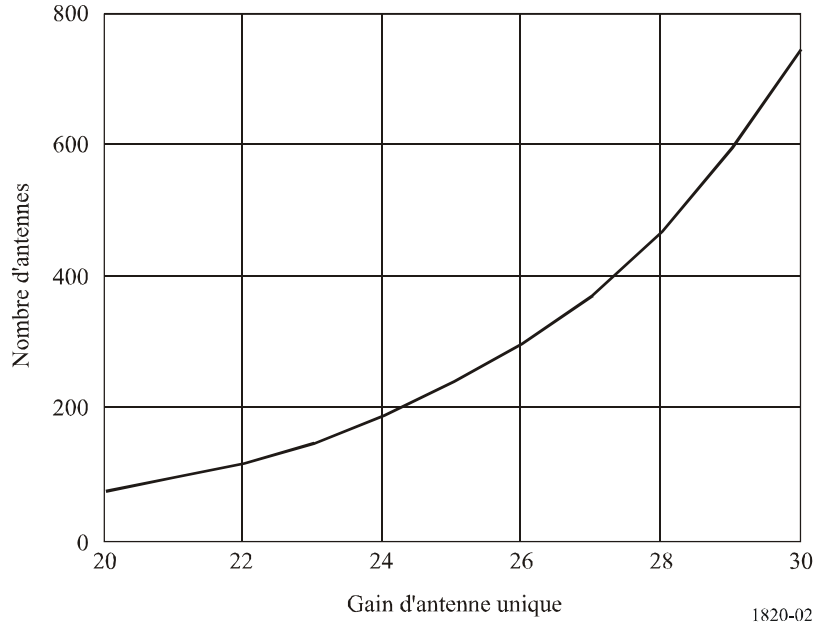
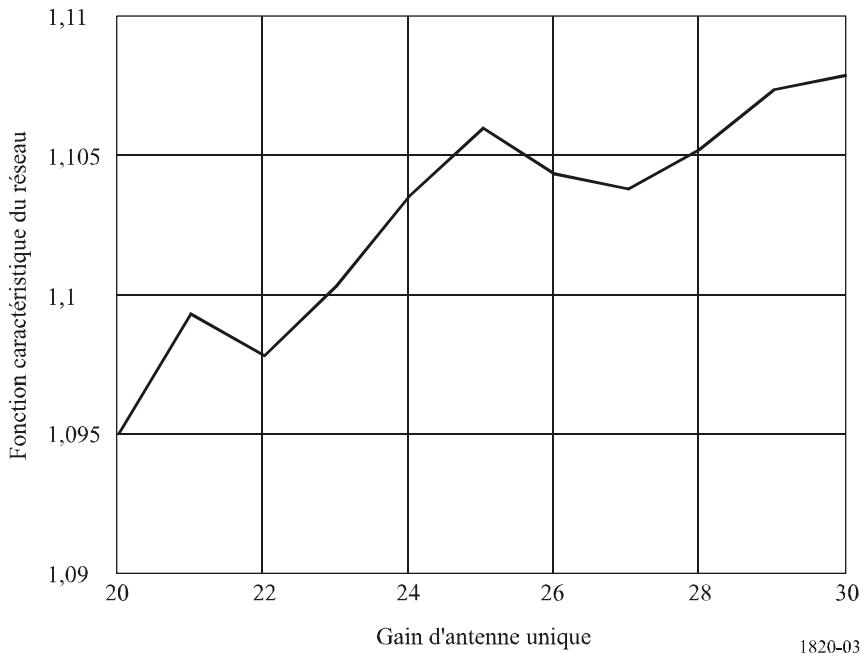


FIGURE 3

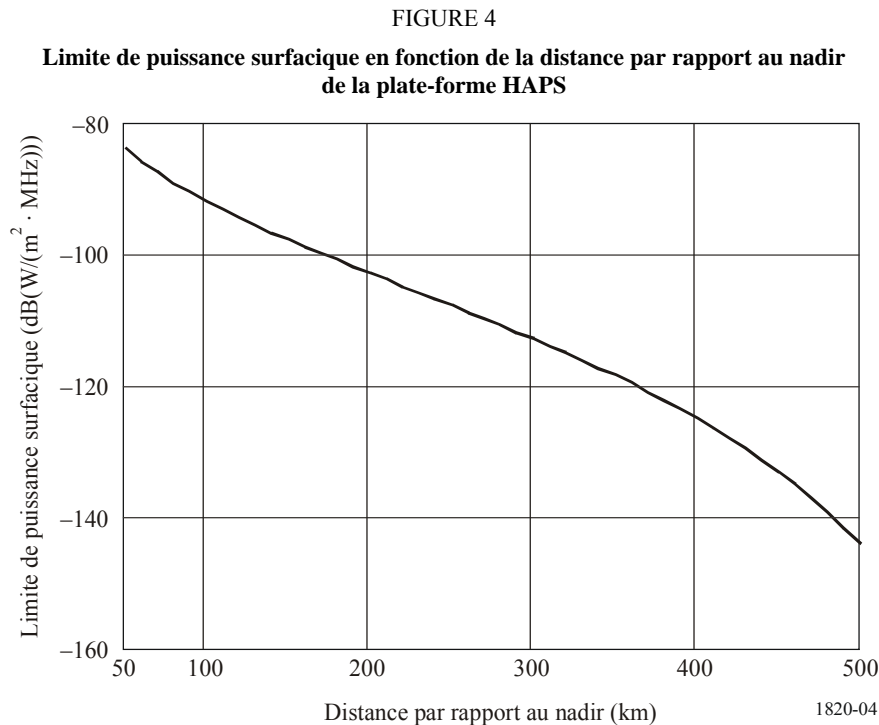
Fonction caractéristique du réseau par rapport au gain d'antenne unique



La Fig. 2 montre que plus le gain des antennes UAC/SAC augmente, plus l'ouverture de leurs faisceaux diminue, si bien que le nombre total de faisceaux augmente lui aussi en conséquence, d'où un accroissement correspondant de la capacité du réseau de la plate-forme.

Sur la Fig. 3, les fonctions caractéristiques du réseau calculées sont toutes regroupées autour de la valeur 1.1, quel que soit le gain d'antenne unique, ce qui est normal étant donné que le schéma de réutilisation des fréquences 7:1 du réseau d'antenne réduit au minimum les brouillages dans le même canal causés par les antennes adjacentes cocanal. La fonction caractéristique du réseau a pour effet d'accroître de 0,4 dB le gain de l'antenne d'émission dans la formule (5).

La limite de puissance surfacique calculée est représentée sur la Fig. 4. Cette limite est obtenue essentiellement à partir de la formule (5), en remplaçant le gain d'antenne unique G_t par un gain d'antenne unique équivalent décrit au § 1. On détermine la distance entre les antennes HAPS et la station au sol du service fixe à partir de la distance par rapport au nadir, au moyen de la formule de géométrie sphérique appropriée.



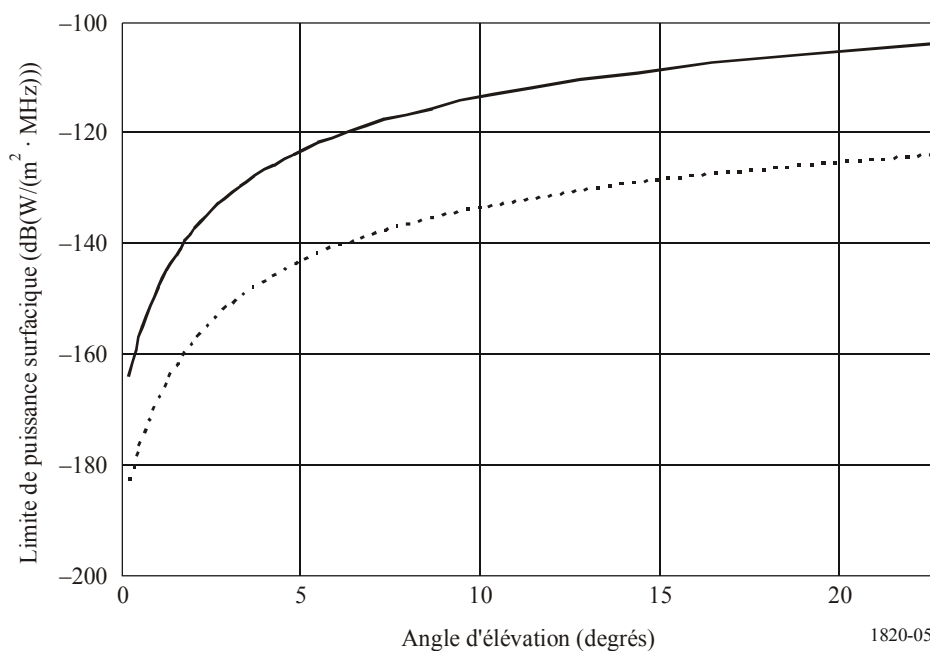
Dans les calculs ci-dessus, on prend pour hypothèse une largeur de bande d'émission de 11 MHz et un affaiblissement mixte dans le câble ou la ligne d'alimentation de 5 dB. La puissance surfacique calculée est comprise entre $-84 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ et $-144,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$, pour des distances comprises entre 50 km et 500 km par rapport au nadir, le chiffre le plus grand correspondant à une distance de 50 km par rapport au nadir. La limite de puissance surfacique tombe au-dessous de la limite de brouillage de puissance surfacique du service fixe lorsque la limite la plus éloignée de la couverture RAC de la station HAPS est supérieure à 470 km. La puissance surfacique diminue nettement lorsque la distance dépasse 200 km, ce qui signifie que l'affaiblissement atmosphérique augmente rapidement. L'angle d'élévation correspondant à la distance de 200 km par rapport au nadir est d'environ 5° . Le calcul ci-dessus repose sur l'hypothèse que la station au sol brouillée du service fixe est au niveau de la mer. Les stations au sol du service fixe situées au-dessus du niveau de la mer subiront des niveaux de brouillages plus élevés, en raison de l'affaiblissement atmosphérique réduit.

Le bilan de liaison des stations HAPS en zone RAC comprend une marge de protection contre les évanouissements dus à la pluie de 20 dB. En conséquence, il serait possible d'utiliser la régulation de puissance automatique sur la liaison descendante, en réduisant de 20 dB la puissance d'émission par ciel clair pour limiter les brouillages dans l'axe de visée causés à la station du service fixe, en admettant que la station du service fixe pointe vers la plate-forme HAPS. En désactivant le faisceau RAC qui pointe directement vers la station du service fixe, on peut encore réduire de 10 dB le niveau de brouillage dans l'axe de visée. A cette fin, il faudrait toujours que la distance entre la station du service fixe et le nadir de la plate-forme HAPS soit supérieure à 260 km. La station du service fixe peut également atténuer les brouillages causés par la station HAPS en ne pointant pas dans la direction de la plate-forme HAPS. Etant donné que l'ouverture du faisceau de l'antenne de la station du service fixe est extrêmement petite ($> 1^\circ$), cela est possible, bien que le maintien en position de la plate-forme HAPS soit considérablement plus souple que celui du satellite OSG, si l'antenne du service fixe est pointée trop près de la position nominale de la station HAPS. Toutefois, une antenne du service fixe est en général pointée à l'horizontale vers une autre antenne distante du service fixe, alors que l'angle d'élévation minimal de l'antenne d'une plate-forme HAPS est de l'ordre de 4° , de sorte que la différence, dans les angles d'élévation, entre les antennes HAPS brouilleuses et l'antenne du service fixe peut permettre à elle seule une réduction d'au moins 25 dB du signal de brouillage. L'effet d'écran environnemental de l'antenne du service fixe permet également de réduire encore les brouillages par rapport à l'axe de visée.

La courbe en traits pleins de la Fig. 5 représente la limite de puissance surfacique calculée en fonction de l'angle d'élévation de la plate-forme HAPS, vue depuis la station du service fixe. La courbe en pointillés représente la même limite, déduction faite de la marge de protection contre les affaiblissements dus à la pluie de 20 dB. A noter que la limite de puissance surfacique calculée (20 dB) est relativement uniforme pour les angles d'élévation supérieurs à 13° et qu'elle fléchit nettement pour les angles d'élévation inférieurs à 3° .

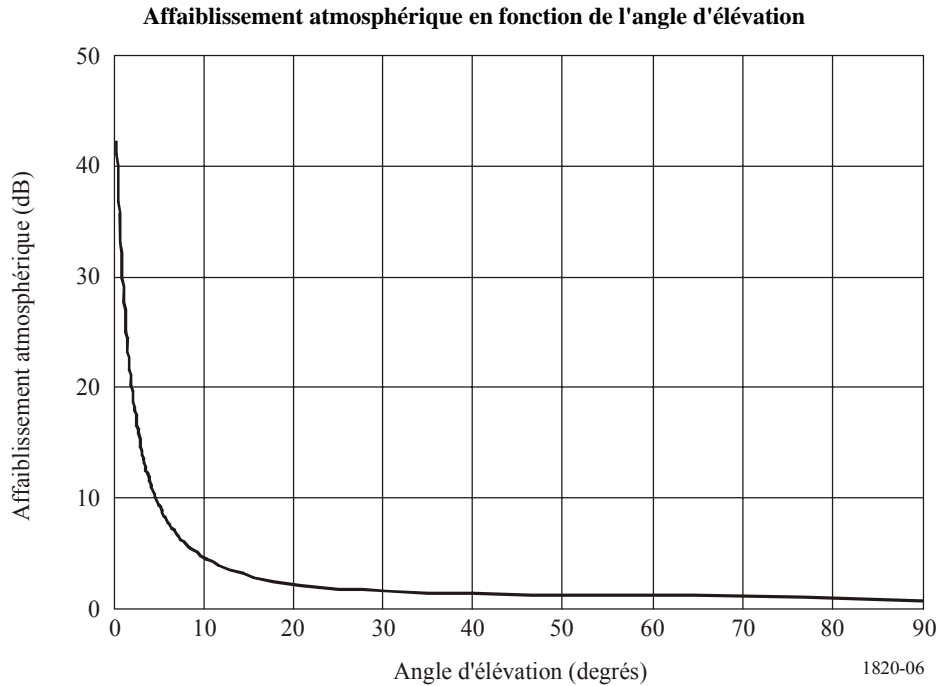
FIGURE 5

Limite de puissance surfacique en fonction de l'angle d'élévation



1820-05

FIGURE 6



La Fig. 6 illustre la variation de l'affaiblissement de propagation minimal dû aux gaz de l'atmosphère dans la bande 47,2-48,2 GHz, en fonction de l'angle d'élévation de la plate-forme HAPS vue depuis la station du service fixe, conformément à la Recommandation UIT-R F.1501. Elle montre que l'affaiblissement atmosphérique reste faible (0,57 dB à 90° et 1,9 dB à 22,5° ou ~ 50 km par rapport au nadir), jusqu'à ce que l'angle d'élévation tombe au-dessous de 13° (affaiblissement = 3,4 dB, distance ~ 90 km par rapport au nadir). A ce stade, l'affaiblissement augmente de manière quasiment exponentielle, pour atteindre une valeur de 42,2 dB à 0,154° (soit à environ 500 km par rapport au nadir). A 3° (~ 280 km par rapport au nadir), l'affaiblissement atmosphérique est de 13,9 dB. A noter que l'affaiblissement atmosphérique décroît rapidement en fonction de l'altitude de la station au sol. Au-dessus de 10 km d'altitude, cet affaiblissement varie entre 0,47 dB et 1,22 dB entre 76 km et 200 km (par rapport au nadir).

3 Limite de puissance surfacique proposée pour les stations HAPS aux frontières internationales pour protéger le service fixe

Compte tenu des résultats de la présente étude, il est proposé que, pour protéger les stations au sol du service fixe dans les administrations de pays voisins contre les brouillages causés dans le même canal, la puissance surfacique cocanal produite par une station HAPS fonctionnant dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz ne dépasse pas les valeurs indiquées ci-après, à la surface de la Terre en dehors des frontières d'une administration, à moins que l'accord exprès de l'administration affectée n'ait été obtenu au moment de la notification du système HAPS;

- -141 dB(W/(m² · MHz)) pour 0° ≤ θ ≤ 3°
- -141 + 2,0(θ - 3) dB(W/(m² · MHz)) pour 3° < θ ≤ 13°
- -121 dB(W/(m² · MHz)) pour 13° < θ ≤ 90°

où θ est l'angle d'incidence au-dessus du plan horizontal de la Terre.

Le choix d'un angle d'incidence inférieur à 3° se justifie par le fait qu'il est plus probable que l'antenne du service fixe subisse des brouillages d'une plate-forme HAPS dans l'axe de visée ou à proximité de l'axe de visée, d'où la nécessité d'assurer une protection complète. Pour les angles d'incidence de 13° ou plus, les brouillages dans l'axe de visée sont très peu probables, de sorte que l'on prend pour hypothèse une réduction de 20 dB du gain d'antenne du service fixe pour réduire l'exigence de protection imposée aux stations HAPS en ce qui concerne la puissance surfacique.
