

RECOMMANDATION UIT-R F.1819

**Protection du service de radioastronomie dans la bande 48,94-49,04 GHz
contre les rayonnements non désirés causés par les stations HAPS
dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz***

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation donne une distance de séparation minimale entre une station de radioastronomie et le nadir d'une plate-forme HAPS afin de protéger les stations de radioastronomie fonctionnant dans la bande 48,94-49,04 GHz contre les rayonnements non désirés causés par les stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) fonctionnant dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz.

Abréviations

HAPS Station placée sur une plate-forme à haute altitude (*high altitude platform station*)

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 nouveaux systèmes utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) dans la stratosphère sont en cours de développement;
- b) que la CMR-97 a pris des dispositions concernant l'exploitation de stations HAPS du service fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz;
- c) que la Recommandation UIT-R F.1500 contient les caractéristiques des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS qui fonctionnent dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz;
- d) qu'il est nécessaire de protéger le service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 48,94-49,04 GHz;
- e) que, conformément à la Résolution 122 (Rév.CMR-03), il faut mener des études de partage de fréquences entre le service de radioastronomie et les systèmes HAPS utilisant les bandes susmentionnées,

recommande

1 que, pour protéger les stations de radioastronomie fonctionnant dans la bande 48,94-49,04 GHz contre les rayonnements non désirés causés par les stations HAPS fonctionnant dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz, la distance de séparation entre une station de radioastronomie et le nadir d'une plate-forme HAPS soit supérieure à 50 km (voir l'Annexe 1).

* Il convient de porter la présente Recommandation à l'attention de la Commission d'études 7 des radiocommunications.

Annexe 1

Méthode de détermination de la distance de séparation minimale entre l'antenne d'une station de radioastronomie et le nadir d'une plate-forme HAPS

1 Introduction

La présente Recommandation décrit les résultats d'une étude de compatibilité entre les stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) assurant des services d'accès hertzien fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz et le service de radioastronomie dans la bande 48,94-49,04 GHz (numéro 5.555B du RR), qui est utilisée uniquement pour l'observation de raies spectrales. Sur la base des résultats de l'étude, une distance de séparation minimale est proposée afin de protéger le service de radioastronomie.

2 Caractéristiques des systèmes

2.1 Le système HAPS

Les paramètres utilisés dans cette analyse sont donnés dans la Recommandation UIT-R F.1500.

2.2 Seuils de brouillage préjudiciable pour le service de radioastronomie

Pour protéger une station de radioastronomie dont le gain d'antenne dans les lobes latéraux est de 0 dBi, il est proposé d'utiliser un seuil de densité spectrale de puissance surfacique de $-209 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ou de $-149 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$. Il faut prendre le gain réel G de l'antenne de la station de radioastronomie pour déterminer si le brouillage dépasse le seuil de brouillage préjudiciable.

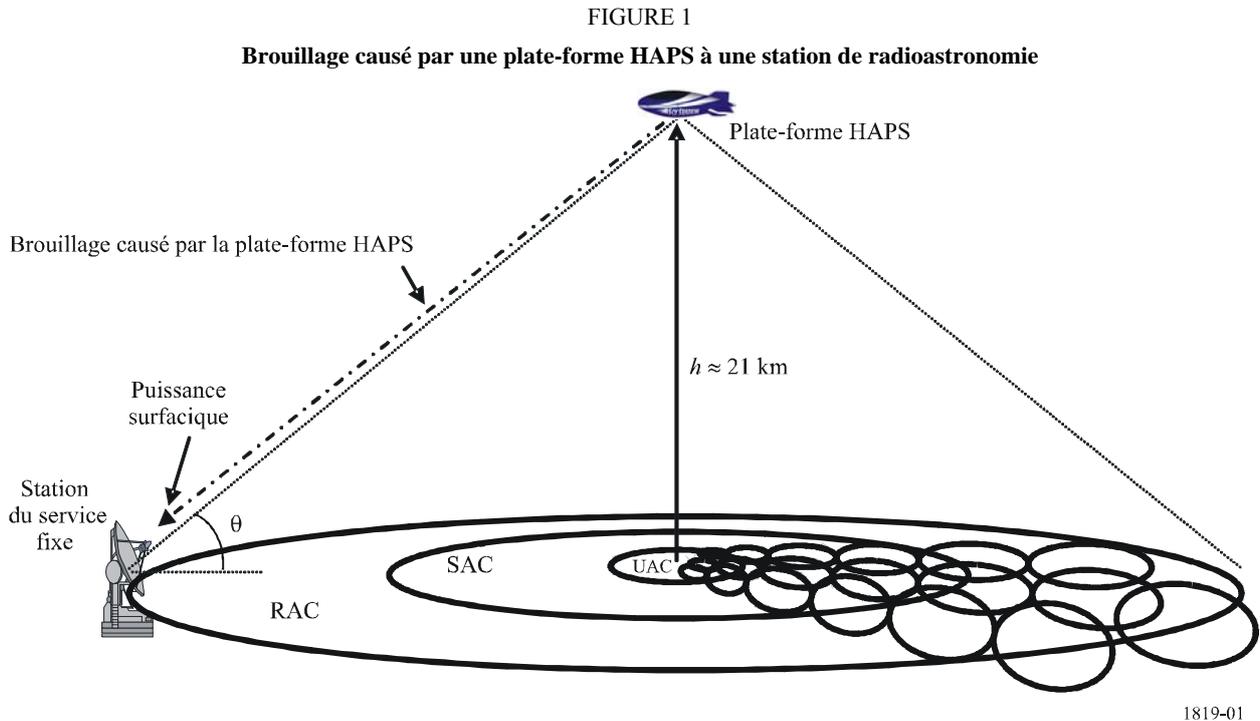
Le gain de l'antenne d'une station de radioastronomie est généralement très élevé, de l'ordre de 70 à 80 dBi. Dans le modèle de diagramme d'antenne donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, le niveau des lobes latéraux à un angle de 5° par rapport à l'axe du faisceau principal est de 15 dBi, le niveau de 0 dBi étant atteint à un angle de $19,05^\circ$. Etant donné que le faisceau principal est étroit, le brouillage causé à l'antenne d'une station de radioastronomie est presque toujours reçu dans les lobes latéraux de l'antenne. On suppose donc ici que la plate-forme HAPS n'est pas située à moins de 5° du faisceau principal de l'antenne de la station de radioastronomie, de sorte que le brouillage du faisceau principal n'est pas pris en considération dans cette étude. Il serait bien sûr souhaitable de ne pas placer la plate-forme HAPS à moins de 20° du faisceau principal de l'antenne, mais ce n'est pas toujours possible. On prend donc ici un critère de brouillage de $-164 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour permettre un gain d'antenne de la station de radioastronomie de 15 dBi dans les lobes latéraux.

2.3 Techniques de réduction du brouillage

Chaque antenne de station de la plate-forme HAPS contient un filtre de Tchebychev passe-bande en guide d'ondes à 12 sections avec une atténuation dans la bande de coupure supérieure à 70 dB pour les rayonnements non désirés aux fréquences supérieures à quatre fois la largeur de bande à 3 dB par rapport à la bande passante. Pour réduire encore le brouillage susceptible d'être causé au service de radioastronomie à 49 GHz, l'antenne contient aussi un filtre de Tchebychev coupe-bande intégré (filtre notch) à 5 sections avec une profondeur de coupure de -25 dB dans la bande de coupure de 100 MHz. On obtient ainsi une atténuation totale dans la bande de coupure supérieure à 95 dB pour la protection de la bande à 49 GHz attribuée au service de radioastronomie.

2.4 Scénario de brouillage

Le scénario de brouillage considéré est illustré sur la Fig. 1. Dans ce scénario, la station de radioastronomie au sol qui reçoit le signal de brouillage émis par une plate-forme HAPS est située à la limite ou à l'extérieur de la zone de couverture de la plate-forme HAPS. Le brouillage cumulatif causé par tous les émetteurs situés sur la plate-forme HAPS est calculé afin de déterminer une limite supérieure de puissance surfacique.



Les zones UAC, SAC et RAC désignent respectivement les zones de couverture urbaine, suburbaine et rurale de la plate-forme HAPS.

2.5 Affaiblissement de propagation

Conformément à la Recommandation UIT-R P.619, l'affaiblissement de propagation L_b entre une seule antenne de station de plate-forme HAPS et une station de radioastronomie peut être exprimé comme suit:

$$L_b = 92,5 + 20 \log f + 20 \log d + A_g + A_D - G_S \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

- f : fréquence (GHz)
- d : longueur du trajet (km)
- A_g : affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère (dB)
- A_D : affaiblissement (dB) dû à l'étalement du faisceau
- G_S : gain (dB) dû aux scintillations.

Pour l'affaiblissement atmosphérique, on utilise la Recommandation UIT-R F.1501. Pour l'analyse du brouillage, seule la formule donnant l'affaiblissement minimal est intéressante. On choisit donc la formule donnant l'affaiblissement A_H dans les régions de latitude élevée (supérieure à 45°) à 47,2 GHz pour procéder à une analyse du cas le plus défavorable.

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

La 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 h (km) est l'altitude de la station au sol au-dessus du niveau de la mer. Pour les angles d'élévation réels inférieurs à 0° , il convient d'utiliser l'affaiblissement correspondant à 0° .

Cette étude portant sur une analyse du cas le plus défavorable, on ignore ici l'affaiblissement dû à l'étalement du faisceau.

Le gain dû aux scintillations, G_S , qui est fonction de la fréquence, du diamètre de l'antenne de la station terrienne, de l'angle d'élévation et du climat local, peut être calculé à partir de l'intensité prévue des scintillations troposphériques. L'ouverture de l'antenne de réception intervient dans le lissage de la fluctuation de l'indice de réfraction; plus l'ouverture de l'antenne est grande par rapport à la première zone de Fresnel, plus le facteur de moyenne sur l'ouverture du récepteur est petit, celui-ci étant toujours inférieur à 1. Pour l'antenne type d'une station de radioastronomie, ce facteur est compris entre 0,1 et 0,7 le long de l'axe du faisceau principal. Pour la réception en dehors de l'axe du faisceau principal, il devrait se rapprocher de 1.

Etant donné que l'angle d'élévation minimal d'une plate-forme HAPS sera supérieur à 5° , on ne dispose actuellement d'aucune donnée pour estimer le gain dû aux scintillations à 49 GHz. Toutefois, on se sert de la formule (25) de la Recommandation UIT-R P.618 pour estimer l'écart type de l'amplitude des scintillations:

$$\sigma(f, \theta, D) = \sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0) \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{7/12} \cdot \left(\frac{\sin(\theta_0)}{\sin(\theta)}\right)^{1,2} \cdot \frac{G(D)}{G(D_0)} \quad (3)$$

où $\sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0)$ est un écart type de référence de l'amplitude des scintillations pour la fréquence f_0 , l'angle d'élévation θ_0 et le diamètre d'ouverture D_0 , $G(D)$ est le facteur de gain moyen sur l'ouverture dû aux scintillations et f , θ et D sont respectivement la fréquence, l'angle d'élévation et l'ouverture de l'antenne de la station de radioastronomie en question.

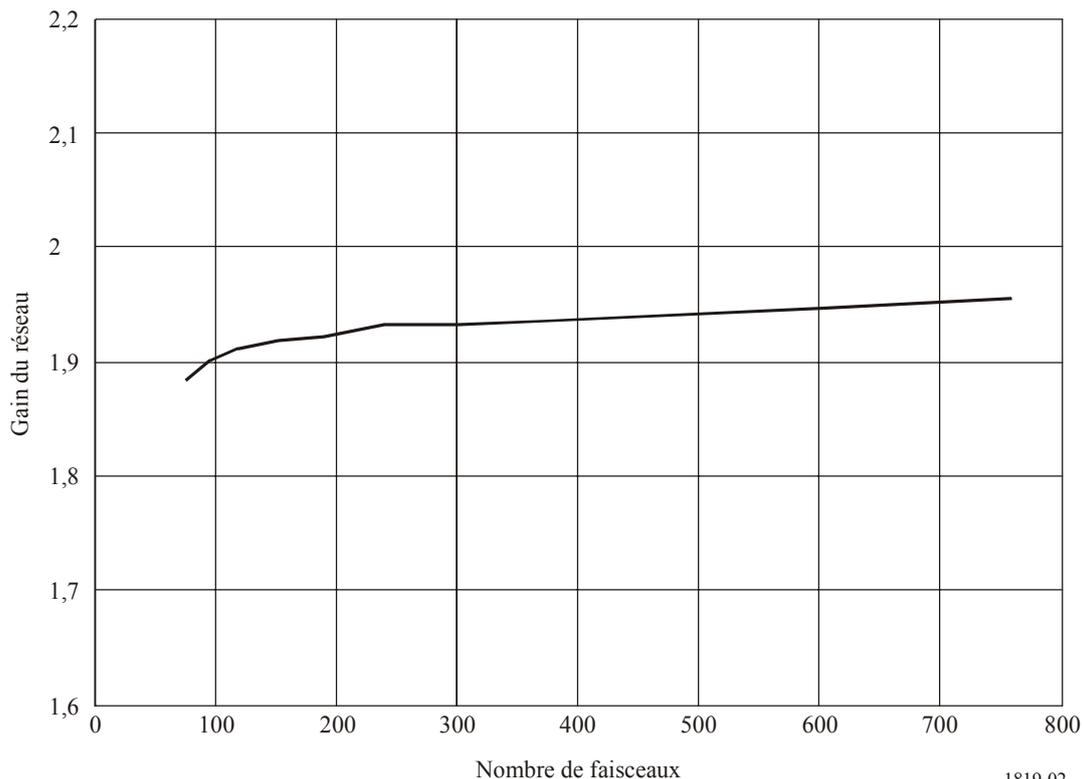
Le § 4.4 de la Recommandation UIT-R P.452 contient aussi une formule pour calculer l'affaiblissement de transmission entre des stations à la surface de la Terre dû à la diffusion troposphérique, qui n'est pas dépassé pendant $p\%$ du temps. Toutefois, l'affaiblissement dû à la diffusion troposphérique n'est applicable qu'aux trajets transhorizon (UIT-R P.452, § 4.4, Note 2), qui, dans le cas d'une plate-forme HAPS, sont supérieurs à 500 km par rapport au nadir. Ainsi, tant que la distance de séparation minimale calculée est inférieure à cette distance, on peut ignorer cet affaiblissement. Il en va de même pour les autres affaiblissements transhorizon tels que les affaiblissements dus à la propagation par conduit et à la diffraction.

2.6 Résultats de l'étude

Pour calculer le brouillage cumulatif causé par une plate-forme HAPS, il faut d'abord calculer un facteur de gain du réseau pour obtenir le gain réel des antennes d'émission G_r et déterminer le niveau total de la puissance d'émission avant tous les affaiblissements donnés par la formule (1). Pour calculer le facteur de gain du réseau, on suppose que les antennes de station de la plate-forme HAPS sont disposées en grille hexagonale sur une surface hémisphérique, sachant que le réseau d'antennes ne couvrirait pas la totalité de l'hémisphère même avec un angle d'élévation minimal de zéro. Ce calcul correspond donc à la limite supérieure de la densité spectrale de puissance surfacique. Une autre hypothèse simplificatrice consiste à remplacer toutes les antennes couvrant la zone RAC par des antennes couvrant la zone SAC de gain inférieur, sauf celle qui pointe directement vers le récepteur au sol brouillé. A la différence des scénarios de brouillage dans le même canal, toutes les antennes de station de la plate-forme HAPS contribuent aux rayonnements non désirés dans la bande 48,94-49,04 GHz attribuée au service de radioastronomie. On calcule la puissance brouilleuse réelle en multipliant le gain d'une seule antenne (pas en dBi) par le facteur de gain du réseau.

FIGURE 2

Facteur de gain du réseau en fonction du nombre total de faisceaux HAPS



1819-02

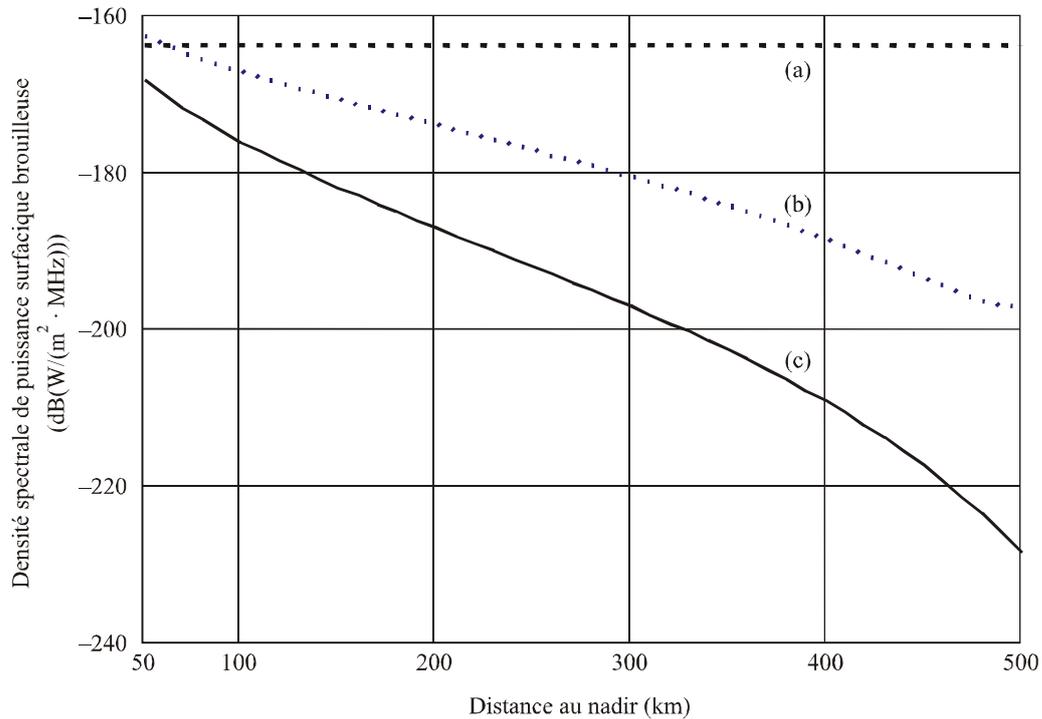
La Fig. 2 montre que le facteur de gain du réseau calculé est proche de 2 et pratiquement indépendant du nombre de faisceaux HAPS. On peut donc estimer la puissance brouilleuse avant tous les affaiblissements en supposant qu'une seule antenne de station de la plate-forme HAPS pointe directement vers l'antenne de la station de radioastronomie et en multipliant la puissance résultante par le facteur de gain du réseau. Comme ce facteur est toujours inférieur à 2, on le prend égal à 2 pour ce calcul.

La Fig. 3 montre la limite supérieure estimée de la densité spectrale de puissance surfacique brouilleuse susceptible d'être causée à une station de radioastronomie située à une distance comprise entre 50 km et 500 km par rapport au nadir de la plate-forme HAPS. On suppose que la largeur de bande d'émission est de 11 MHz et que l'affaiblissement combiné dans le câble et dans la ligne d'alimentation est de 5 dB et on utilise une atténuation totale dans la bande de coupure de 95 dB pour obtenir les résultats finals. La densité spectrale de puissance surfacique calculée est comprise entre $-176,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ pour une distance de 50 km et $-236,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ pour une distance de 500 km (courbe en trait plein).

Pour avoir une idée de l'effet des scintillations troposphériques, les données de mesure à long terme obtenues à Isfjord Radio (Spitzberg) au cours de l'été 1982 pour un angle d'élévation de $3,2^\circ$ sont extrapolées à 49 GHz et pour d'autres angles d'élévation au moyen de la formule (3) de la Recommandation UIT-R F.1501. Il est à noter qu'il n'est pas recommandé d'utiliser la formule (3) pour des angles d'élévation inférieurs à 4° , ni pour des fréquences supérieures à 20 GHz. Son utilisation n'est donc pas complètement valable; il s'agit uniquement d'obtenir une estimation grossière. Les données de mesure du Spitzberg montrent que le gain dû à l'amplitude des scintillations est supérieur à 12 dB pendant moins de 0,001% du temps. Pour la courbe en pointillés, on a ajouté le gain extrapolé dû aux scintillations troposphériques qui est à l'origine du surplus de brouillage dû à la diffusion troposphérique à 49 GHz, tandis que la courbe en trait plein donne le niveau de brouillage lorsque le gain dû aux scintillations est nul. Le facteur de gain moyen sur l'ouverture de l'antenne de la station de radioastronomie $G(D)$, qui est toujours inférieur à 1, est ignoré dans cette étude afin d'obtenir une estimation dans le cas le plus défavorable. Lorsque ce facteur est pris en considération, la densité spectrale de puissance surfacique brouilleuse est comprise entre $-172,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ et $-212,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$. L'augmentation prononcée de la puissance surfacique brouilleuse correspond au grand renforcement du signal radioélectrique aux faibles angles d'élévation. La limite de densité spectrale de puissance surfacique reste inférieure au seuil de protection du service de radioastronomie de $-164 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$, lorsqu'aucun gain dû aux scintillations troposphériques n'est inclus. Avec un gain dû aux scintillations, la distance de séparation minimale est d'environ 51 km. Toutefois, si la plate-forme HAPS peut rester à plus de 5° de l'axe du faisceau principal de l'antenne de la station de radioastronomie, la distance de séparation minimale serait probablement négligeable même avec des scintillations. La densité spectrale de puissance surfacique diminue nettement lorsque la distance devient supérieure à 200 km, ce qui signifie que l'affaiblissement atmosphérique augmente rapidement. Pour une distance de 200 km par rapport au nadir, l'angle d'élévation est d'environ 5° . Pour le calcul ci-dessus, on a supposé que la station au sol brouillée du service fixe était située au niveau de la mer. Si cette station est située à un niveau plus élevé que le niveau de la mer, elle subira davantage de brouillage car l'affaiblissement atmosphérique sera moins élevé.

FIGURE 3

Densité spectrale de puissance surfacique reçue par l'antenne de la station de radioastronomie en fonction de la distance au nadir



Courbe (a): Seuil de protection du service de radioastronomie

Courbe (b): Niveau de brouillage avec gain dû aux scintillations

Courbe (c): Niveau de brouillage lorsque le gain dû aux scintillations est nul

1819-03

3 Distance de séparation minimale entre l'antenne d'une station de radioastronomie et le nadir d'une plate-forme HAPS pour assurer la protection du service de radioastronomie

Afin de protéger les observations faites par une station de radioastronomie dans la bande 48,94-49,04 GHz contre les rayonnements non désirés causés par une plate-forme HAPS fonctionnant dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz, il est proposé que la distance de séparation entre l'antenne de la station de radioastronomie et le nadir de la plate-forme HAPS soit supérieure à 50 km.