

RECOMMANDATION UIT-R F.1609-1

Evaluation des brouillages causés par les systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude aux systèmes classiques du service fixe dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

(Question UIT-R 212/9)

(2003-2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit une méthodologie d'évaluation des brouillages causés par les systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS, *high altitude platform stations*) aux systèmes classiques du service fixe dans les bandes des 28 GHz (27,5-28,35 GHz) et des 31 GHz (31-31,3 GHz). Des exemples de calculs de brouillages selon cette méthodologie sont d'ailleurs fournis dans les Annexes 1 à 3, dans le cas de stations d'accès hertzien fixe (AHF) point à point et point à multipoint (P-MP).

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nouvelles technologies 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, étant donné la plus grande sensibilité des bandes à 47 GHz, spécifiées sous le point a) du *reconnaisant*, au phénomène d'affaiblissement dû à la pluie dans les pays énumérés aux numéros 5.537A et 5.543A du Règlement des radiocommunications (RR), l'UIT-R a mené des études dans la gamme de fréquences 18-32 GHz afin d'y identifier éventuellement des ressources radioélectriques supplémentaires;
- c) que les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz sont attribuées au service fixe à titre primaire,

reconnaisant

- a) que la CMR-97 a pris des dispositions en vue du fonctionnement de systèmes HAPS dans le cadre du service fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz;
- b) que le numéro 5.537A du RR précise que l'attribution au service fixe dans la bande 27,5-28,35 GHz peut aussi être utilisée par des stations HAPS dans les pays dont la liste est donnée dans ce numéro et que l'utilisation de la bande 27,5-28,35 GHz par des stations HAPS est limitée à l'exploitation dans le sens station HAPS vers-sol et ne doit pas causer de brouillages préjudiciables aux systèmes conventionnels du service fixe ou aux autres services bénéficiant d'une attribution à titre primaire avec égalité des droits, ni prétendre à une protection vis-à-vis de ceux-ci;

- c) que le numéro 5.543A du RR précise que l'attribution au service fixe dans la bande 31-31,3 GHz peut aussi être utilisée par des stations HAPS dans le sens sol vers-station HAPS dans les pays visés dans ce numéro et que l'utilisation de cette bande par des stations HAPS ne doit pas causer de brouillages préjudiciables aux systèmes conventionnels du service fixe ou aux autres services bénéficiant d'une attribution à titre primaire avec égalité des droits, ni prétendre à une protection vis-à-vis de ceux-ci, compte tenu du numéro 5.545 du RR;
- d) que le numéro 5.543A du RR précise également que l'utilisation de la bande 31-31,3 GHz par des stations HAPS ne doit pas causer de brouillages préjudiciables aux services passifs bénéficiant d'une attribution à titre primaire dans la bande 31,3-31,8 GHz, compte tenu des critères de brouillage énoncés dans les Recommandations UIT-R SA.1029 et UIT-R RA.769;
- e) que la Résolution 145 (Rév.CMR-03) invite instamment à étudier les questions techniques, réglementaires et de partage afin de déterminer les critères permettant l'exploitation des stations HAPS dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz,

recommande

- 1 d'utiliser les méthodes présentées dans les Annexes 1 et 2 pour évaluer les brouillages causés par un système HAPS à un système conventionnel du service fixe P-MP et point à point (voir les Notes 1 et 2);
- 2 d'utiliser la méthode exposée dans l'Annexe 3 pour évaluer les brouillages occasionnés par une plate-forme HAPS à un système classique du service fixe dans la bande 27,5-28,35 GHz;
- 3 d'utiliser les méthodes décrites dans les Annexes 1, 2 et 3 pour élaborer des accords bilatéraux entre administrations.

NOTE 1 – Il convient de se reporter à la nouvelle Recommandation UIT-R F.1569 pour obtenir les paramètres types d'un système HAPS.

NOTE 2 – L'évaluation des brouillages causés par un système HAPS à un système à accès hertzien fixe (AHF) est examinée dans les Annexes 1 et 2 (scénario de brouillage correspondant au cas le plus défavorable). La mise en œuvre des techniques de réduction des brouillages décrites dans le projet de nouvelle Recommandation UIT-R F.1608 peut permettre de réduire la distance de séparation requise.

NOTE 3 – Dans les Annexes 1 et 2, des valeurs fixes sont attribuées à certains paramètres, tels que la puissance de sortie de l'émetteur. La valeur des autres paramètres sera relativement simple à déterminer sur la base des résultats décrits dans le présent document. Par ailleurs, la Recommandation UIT-R F.758 contient certains paramètres système, dont certains correspondent aux brouillages dans le cas le plus défavorable.

Annexe 1

Méthode d'évaluation des brouillages causés par des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS à des systèmes AHF (P-MP) dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

1 Introduction

La présente Annexe décrit une méthode d'évaluation des brouillages, des paramètres techniques et des techniques d'exploitation à utiliser pour les études de partage entre des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS et des systèmes AHF P-MP exploités dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz. Un système P-MP comprend généralement une station de base et plusieurs stations d'abonné.

Dans un système AHF, aucune règle ne régit l'utilisation de ces deux bandes de fréquences entre une station de base AHF et une station d'abonné AHF. En conséquence, toutes les situations de brouillage doivent être envisagées.

2 Méthode de calcul des brouillages causés par un système HAPS à un système AHF P-MP

2.1 Brouillages causés par un aéronef HAPS à une station AHF

La puissance de brouillage, I (dB(W/MHz)), causée par le faisceau ponctuel d'un aéronef HAPS à une station AHF est donnée par l'équation (1) suivante:

$$I = P_{Tx_HmBn} + G_{Tx_HmBn}(\theta_{HmBn_F}) - L_s - L_{AtmHm_F} + G_{Rx_AHF}(\theta_{F_Hm}) - L_{fRx_AHF} \quad (1)$$

où:

P_{Tx_HmBn} : densité de puissance d'émission du faisceau ponctuel (B_n) de la station HAPS (H_m) (dB(W/MHz))

$G_{Tx_HmBn}(\theta_{HmBn_F})$: gain d'antenne du faisceau ponctuel d'un aéronef HAPS en direction de la station AHF (dBi)

L_s : affaiblissement en espace libre sur le trajet entre l'aéronef HAPS et la station AHF (dB), donné par l'équation suivante:

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi d \times 1000}{\lambda} \right)$$

d : distance entre l'aéronef HAPS et la station AHF (km)

λ : longueur d'onde (m)

L_{AtmHm_F} : affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique entre l'aéronef HAPS et la station AHF (dB) (pour plus de renseignements, voir l'Appendice 1 aux Annexes 1 et 2, qui est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1404 et dans laquelle l'absorption est donnée par la formule $A(h, \theta)$)

$G_{Rx_AHF}(\theta_{F_Hm})$: gain d'antenne de réception de la station AHF en direction de l'aéronef HAPS (dBi)

L_{fRx_AHF} : affaiblissement d'alimentation de la station AHF au niveau du récepteur (dB).

Le rapport puissance de brouillage/bruit thermique du récepteur, I/N , est donné par l'équation (2):

$$I/N = I - 10 \log(293 \times k \times 10^{NF/10} \times 10^6) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où:

k : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ (J/K)

NF : facteur de bruit de la station AHF (dB)

2.2 Brouillages causés par une station au sol HAPS à une station AHF

La puissance de brouillage I (dB(W/MHz)) causée par une station au sol HAPS à une station AHF est donnée par l'équation (3).

$$I = P_{Tx_GS} - L_{fTx_GS} + G_{Tx_GS}(\theta_{H_F}) - L_s - L_{Atm} - L_{Obs} + G_{Rx_AHF}(\theta_{F_H}) - L_{fRx_AHF} \quad (3)$$

où:

P_{Tx_GS} : densité de puissance d'émission produite par la station au sol HAPS (dB(W/MHz))

L_{fTx_GS} : affaiblissement d'alimentation de la station au sol HAPS (dB)

$G_{Tx_GS}(\theta_{H_F})$: gain d'antenne de la station au sol HAPS en direction de la station AHF (dBi)

L_s : affaiblissement en espace libre sur le trajet entre la station au sol HAPS et la station AHF (dB)

L_{Atm} : affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique entre la station au sol HAPS et la station AHF (dB), calculé sur la base de la Recommandation UIT-R P.676

L_{Obs} : affaiblissement par effet d'écran entre la station au sol HAPS et la station AHF (ce terme n'est pas pris en compte dans le calcul de la distance de séparation requise) (dB)

$G_{Rx_AHF}(\theta_{F_H})$: gain d'antenne de réception de la station AHF en direction de la station au sol HAPS (dBi)

L_{fRx_AHF} : affaiblissement dans la ligne d'alimentation de la station AHF (dB).

Le rapport I/N du récepteur est donné par l'équation (2).

3 Hypothèses retenues pour l'évaluation des brouillages

3.1 Système HAPS

Les paramètres des systèmes HAPS sont décrits dans la nouvelle Recommandation UIT-R F.1569.

3.2 Système AHF en configuration d'exploitation P-MP

Le § 1 de l'Appendice 2 aux Annexes 1 et 2 décrit les paramètres d'un système AHF en configuration d'exploitation P-MP pris pour hypothèse pour l'évaluation des brouillages avec une station de base et une station d'abonné.

Concernant la station de base AHF, trois cas sont envisagés en fonction du diagramme de faisceau d'antenne et du schéma de réutilisation des fréquences. On suppose ici que les stations de base sont placées tous les 2 km.

Cas a): le diagramme de faisceau d'antenne retenu est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1336, et le schéma de réutilisation des fréquences choisi semble assez réaliste (4 stations de base utilisant 4 bandes de fréquences et rayonnant dans quatre secteurs de 90°; on place ces groupes de quatre stations à intervalles réguliers).

Cas b): le diagramme de faisceau d'antenne retenu est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1336 et toutes les stations de base utilisent la même fréquence qui a été assignée à la station de base (on suppose donc que le diagramme est équidirectif dans la direction de l'azimut).

Cas c): le diagramme de faisceau d'antenne retenu (qui n'est décrit dans aucune Recommandation) est assez réaliste et devrait être adopté par de nombreux fournisseurs de services; le schéma de réutilisation des fréquences est identique à celui qui correspond au Cas a).

4 Exemples de résultats de calculs dans le cas d'un système AHF exploité en configuration P-MP

On trouvera dans les lignes qui suivent des exemples de calcul concernant les caractéristiques du rapport I/N et la distance de séparation requises. En ce qui concerne les paramètres du système AHF exploité en configuration P-MP, on envisage les trois Cas a), b) et c) pour la station de base. On suppose également que le même type de station d'abonné AHF est utilisé pour trois stations de base.

4.1 Brouillages causés par un aéronef HAPS à un système AHF

Lors de l'examen des brouillages causés par un aéronef HAPS à une station de base AHF, on suppose que 11×21 aéronefs HAPS sont déployés sur une zone de $500 \text{ km} \times 1\,000 \text{ km}$. Les caractéristiques du rapport I/N sont évaluées en fonction de la distance entre la station AHF et le nadir de l'aéronef HAPS situé au centre du côté mesurant $1\,000 \text{ km}$.

On suppose dans les calculs que le faisceau principal de la station de base AHF est toujours orienté dans la direction horizontale. On suppose également pour les besoins de l'analyse du cas le plus défavorable que la station d'abonné AHF pointe directement vers l'aéronef HAPS avec un angle maximal de 60° en élévation.

4.1.1 Brouillages causés par un aéronef HAPS à une station de base AHF

Les Fig. 1 et 2 illustrent respectivement les caractéristiques du rapport I/N de la station de base AHF dans les Cas a) et b), lorsque des brouillages sont causés à cette station par 11×21 aéronefs HAPS (voir la Fig. 3). La mention «avant» sur la Fig. 1, signifie que les stations de base pointent vers le centre de plusieurs aéronefs qui se font face dans la direction de l'azimut. Les termes «côté» ou «arrière» signifient respectivement que la station de base voit le «côté» ou l'«arrière» de l'aéronef. Le rapport I/N indiqué correspond à la valeur la plus défavorable qui est obtenue pour tous les faisceaux ponctuels utilisant le schéma de réutilisation des fréquences.

Il ressort des deux Figures que la valeur maximale du rapport I/N est d'environ -15 dB . Il semble donc, dans les conditions envisagées ici, que plusieurs aéronefs HAPS ne causeront pas de brouillages importants à la station de base AHF. Il convient de noter que les termes avant, côté et arrière sont équivalents sur la Fig. 2, car on suppose que le diagramme d'antenne est équidirectif dans la direction de l'azimut.

Lorsque qu'on utilise un diagramme de faisceau assez réaliste pour la station de base AHF (Cas c)), la valeur du rapport I/N diminue légèrement, comme indiqué sur la Fig. 4. Dans le Cas c), la valeur maximale du rapport I/N est d'environ -20 dB .

FIGURE 1

Caractéristiques du rapport I/N de la station de base AHF
 dans le Cas a) lorsque des brouillages sont causés
 à cette station par 11 × 21 avions HAPS

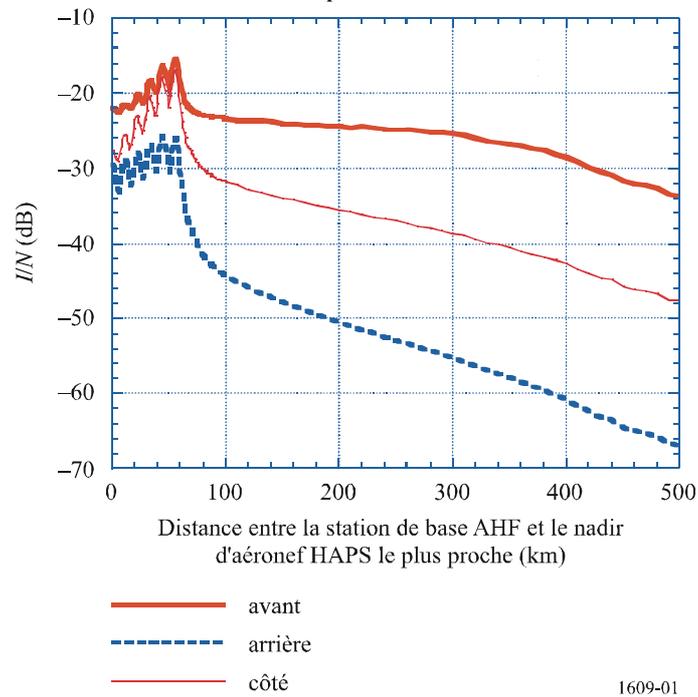


FIGURE 2

Caractéristiques du rapport I/N de la station de base AHF
 dans le Cas b) lorsque des brouillages sont causés à
 cette station par 11 × 21 avions HAPS

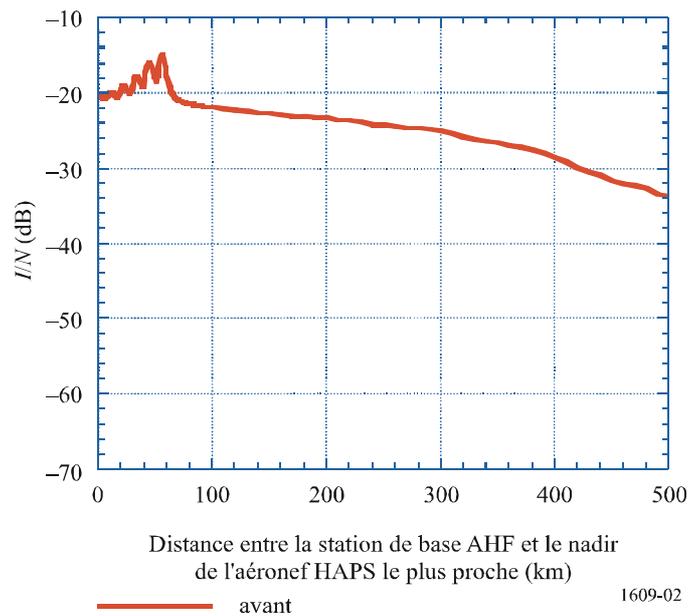


FIGURE 3

Aéronefs HAPS situés dans une zone de 500 km × 1 000 km

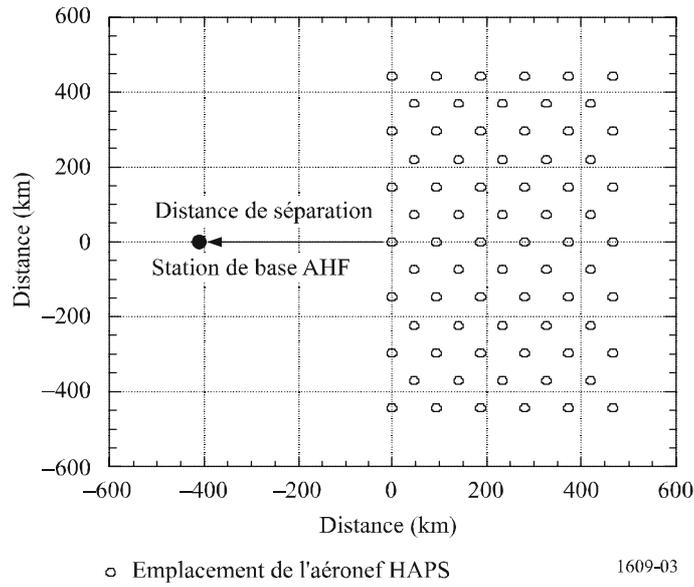
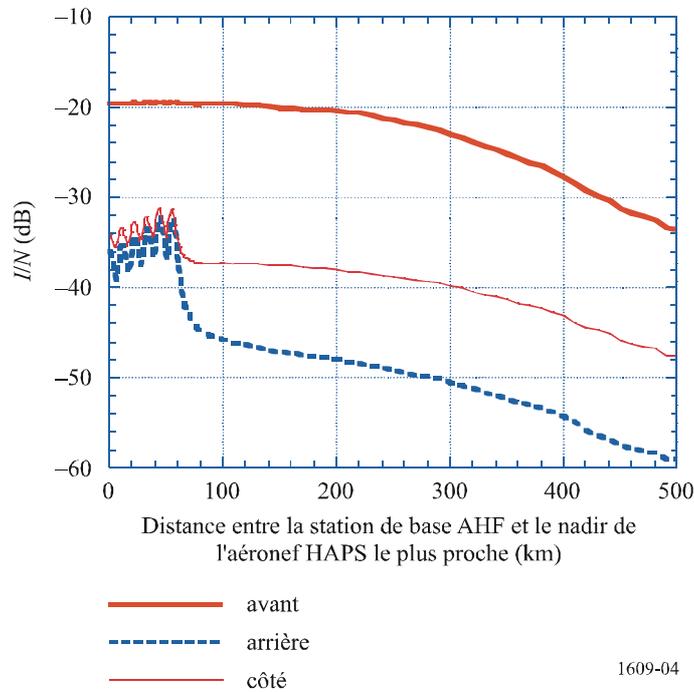


FIGURE 4

Caractéristiques du rapport I/N de la station de base AHF dans le Cas c) lorsque les brouillages sont causés à cette station par 11 × 21 aéronefs HAPS

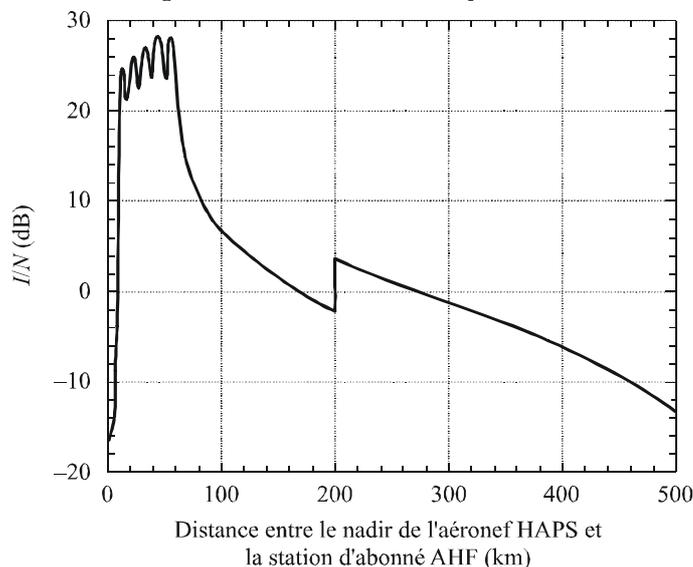


4.1.2 Brouillages causés par un aéronef HAPS à une station d'abonné AHF

En ce qui concerne les caractéristiques du rapport I/N de la station d'abonné AHF comme indiqué sur la Fig. 5, la valeur de ce rapport dans le cas le plus défavorable atteint environ 30 dB lorsque des brouillages sont causés à cette station par un seul aéronef HAPS. Cela est dû au fait que le gain d'antenne de la station d'abonné AHF est plus élevé que celui de la station de base et que par hypothèse, cette antenne pointe directement vers l'aéronef HAPS à un angle d'élévation maximal limité à 60° . En conséquence, l'aéronef HAPS causera des brouillages importants à la station d'abonné lorsque la même fréquence est utilisée. Il convient de noter que sur la Fig. 5, la distance de 200 km correspond à un point de transition entre l'utilisation d'une antenne de 30 cm de diamètre et celle d'une antenne de 60 cm de diamètre (voir la Note 1 du Tableau 2).

FIGURE 5

Caractéristiques du rapport I/N de la station d'abonné AHF lorsque des brouillages sont causés à cette station par un seul aéronef HAPS



1609-05

4.2 Brouillages causés par une station au sol HAPS à un système AHF

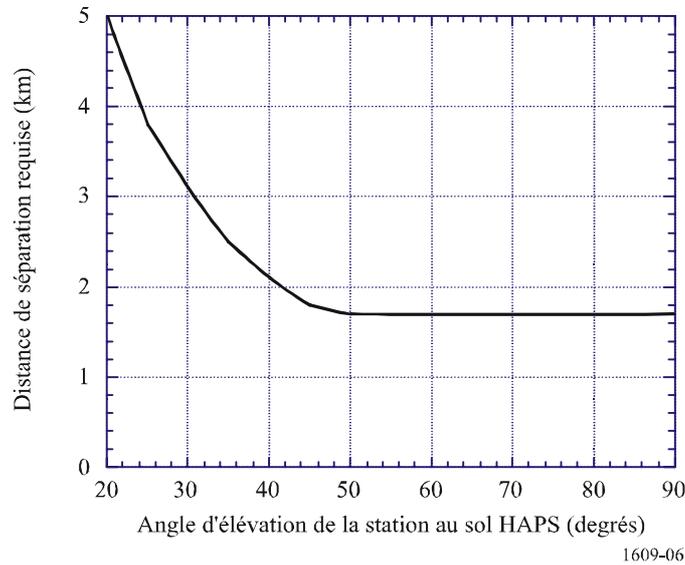
En ce qui concerne les brouillages causés par une station au sol HAPS à une station AHF, l'analyse n'est effectuée que pour le cas de transmissions en visibilité directe. On suppose que la station au sol HAPS et la station AHF (station de base et station d'abonné) se trouvent à la même altitude et que le gain d'antenne de la station de base AHF en direction de la station au sol HAPS est le même dans les Cas a), b) et c). Les calculs ne sont effectués que pour une source de brouillage unique, lorsque les deux stations (station au sol HAPS avec un angle d'élévation de plus de 20° et station AHF pointant dans la direction horizontale) se font face en azimut. On suppose dans cette analyse que la valeur du rapport I/N est -15 dB.

4.2.1 Brouillages causés par une station au sol HAPS à une station de base AHF

La Fig. 6 indique la distance de séparation requise lorsque la station au sol HAPS cause des brouillages à une station de base AHF. En prenant pour hypothèse un rapport I/N de -15 dB et un angle d'élévation minimal de 20° , on obtient une distance de séparation d'environ 5 km. Sachant que les stations de base AHF sont installées tous les 2-3 km avec réutilisation de fréquences, la station au sol HAPS et la station de base pourraient difficilement coexister à moins que des techniques de réduction des brouillages soient utilisées.

FIGURE 6

Distance de séparation requise lorsqu'une station au sol HAPS cause des brouillages à une station de base AHF en fonction de l'angle d'élévation de la station au sol HAPS

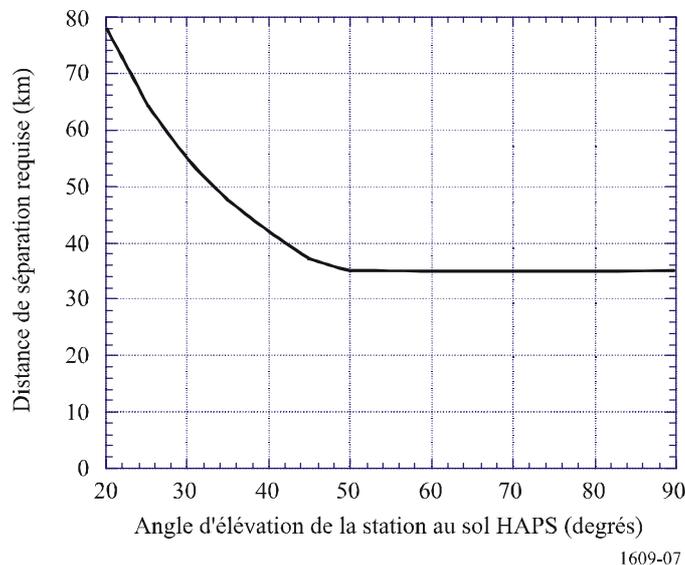


4.2.2 Brouillages causés par une station au sol HAPS à une station d'abonné AHF

La Fig. 7 indique la distance de séparation requise lorsque la station au sol HAPS cause des brouillages à la station d'abonné AHF dans l'hypothèse où la valeur du rapport I/N est -15 dB. Dans l'hypothèse d'un rapport I/N de -15 dB et d'un angle d'élévation de 20° , la distance de réparation est d'environ 80 km. Il est impossible de faire coexister la station d'abonné AHF et la station au sol HAPS sans techniques de réduction des brouillages.

FIGURE 7

Distance de séparation requise lorsqu'une station au sol HAPS cause des brouillages à une station d'abonné AHF en fonction de l'angle d'élévation de la station au sol HAPS



5 Résumé

On trouvera dans la présente Annexe une méthode permettant d'évaluer les brouillages exprimés sous la forme d'un rapport I/N , causés par des émetteurs de stations HAPS à des récepteurs de stations AHF (en configuration P-MP) et une évaluation de la distance de séparation requise pour certaines configurations de déploiement de stations AHF et de stations HAPS prises pour hypothèse.

Annexe 2

Méthode d'évaluation des brouillages causés par des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS à des systèmes d'AHF (point à point) dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

1 Introduction

On trouvera dans la présente Annexe une méthode d'évaluation des brouillages, des paramètres techniques et des techniques d'exploitation à utiliser pour les études de partage entre des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS et des systèmes AHF exploités en configuration point à point dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz. Un système point à point comprend deux stations de radiocommunication qui se font face (dans un souci de simplicité, on emploiera dans la présente Annexe les termes «stations AHF» pour désigner ces stations).

2 Méthode de calcul des brouillages causés par un système HAPS à un système AHF (point à point)

La méthode de calcul des brouillages entre un système HAPS et un système AHF en configuration d'exploitation point à point étant identique à celle exposée au § 2 de l'Annexe 1, il est inutile de donner ici l'équation correspondante.

3 Hypothèses retenues pour l'évaluation des brouillages

3.1 Système HAPS

Les paramètres des systèmes HAPS sont décrits dans la Recommandation UIT-R F.1569.

3.2 Système AHF en configuration d'exploitation point à point

Le § 2 de l'Appendice 2 aux Annexes 1 et 2 décrit les paramètres d'un système AHF en configuration d'exploitation point à point pris pour hypothèse pour l'évaluation des brouillages.

4 Exemples de résultats de calculs dans le cas d'un système AHF exploité en configuration point à point

4.1 Brouillages causés par un aéronef HAPS à un système AHF

Lors de l'examen des brouillages causés par un aéronef HAPS à une station AHF, on évalue les caractéristiques du rapport I/N en fonction de la distance entre la station AHF et le nadir de l'aéronef HAPS. On suppose pour les besoins de l'analyse du cas le plus défavorable que la station AHF pointe directement vers l'aéronef HAPS avec un angle maximal de 60° en élévation.

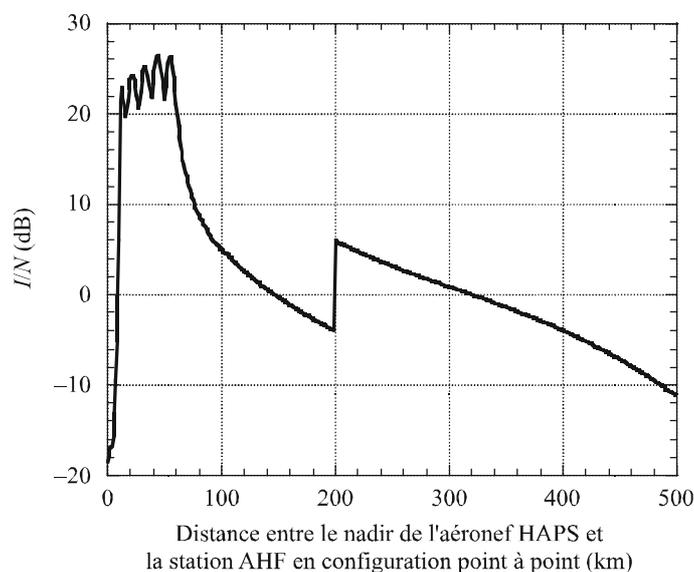
En ce qui concerne les caractéristiques du rapport I/N de la station d'abonné AHF, la valeur de ce rapport dans le cas le plus défavorable atteint environ 30 dB lorsque des brouillages sont causés à cette station par un seul aéronef HAPS (voir la Fig. 8). Cela est dû au fait que le gain d'antenne de la station d'abonné AHF est plus élevé que celui de la station de base et que par hypothèse, cette antenne pointe directement vers l'aéronef HAPS à un angle d'élévation maximal de 60° . En conséquence, l'aéronef HAPS causera des brouillages importants à la station AHF lorsque la même fréquence est utilisée. Il convient de noter que sur la Fig. 8, la distance de 200 km correspond à un point de transition entre l'utilisation d'une antenne de 30 cm de diamètre et celle d'une antenne de 90 cm de diamètre (voir la Note 1 relative au Tableau 3).

4.2 Brouillages causés par une station au sol HAPS à un système AHF

En ce qui concerne les brouillages causés par une station au sol HAPS à un système AHF, l'analyse n'est effectuée que dans le cas de transmissions en visibilité directe. On suppose que la station au sol HAPS et la station AHF se trouvent à la même altitude. Les calculs ne sont faits que pour une seule source de brouillage, lorsque les deux stations (station au sol HAPS avec un angle d'élévation de plus de 20° et station AHF pointant dans la direction horizontale) se font face en azimut. On suppose dans cette analyse du partage des fréquences que la valeur du rapport I/N est -15 dB.

FIGURE 8

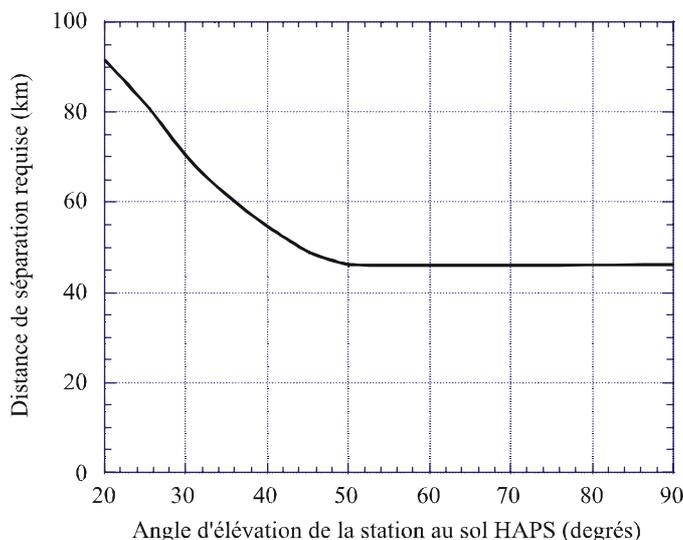
Caractéristiques du rapport I/N de la station AHF lorsque des brouillages sont causés à cette station par un seul aéronef HAPS



La Fig. 9 indique la distance de séparation requise lorsque la station au sol HAPS cause des brouillages à la station AHF. En prenant pour hypothèse un rapport I/N de -15 dB et un angle d'élévation maximal de 20° , on obtient une distance de séparation d'environ 92 km. La station AHF (en configuration point à point) et la station au sol HAPS ne peuvent coexister sans techniques de réduction des brouillages.

FIGURE 9

Distance de séparation requise lorsqu'une station au sol HAPS cause des brouillages à une station AHF en fonction de l'angle d'élévation de la station au sol HAPS



1609-09

5 Résumé

On trouvera dans la présente Annexe une méthode permettant d'évaluer les brouillages exprimés sous la forme d'un rapport I/N causés par des émetteurs de stations HAPS à des récepteurs de stations AHF (en configuration point à point) et une évaluation de la distance de séparation requise pour certaines configurations de déploiement de stations AHF et de stations HAPS prises pour hypothèse.

Le partage de fréquences entre des stations au sol HAPS et un système AHF à la surface de la Terre pourrait être assuré, sur la base d'un fonctionnement au même emplacement, moyennant le recours à des moyens appropriés tels que l'assignation dynamique de fréquences ou une coordination suffisante, qui sont du ressort des administrations nationales. Un moyen efficace de réduire les brouillages entre des stations au sol HAPS et un système AHF consiste à placer ces stations de telle sorte qu'elles ne soient pas en visibilité directe du système AHF. Il convient également de noter que le signal brouilleur est intercepté par une colline ou un bâtiment dans la plupart des cas où les deux stations sont distantes de plus de 100 km.

Appendice 1 aux Annexes 1 et 2

Affaiblissement de propagation dû aux gaz atmosphériques sur le trajet oblique entre un aéronef HAPS et des stations au sol dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31-31,3 GHz

L'affaiblissement de propagation dû aux gaz atmosphériques sur le trajet oblique entre des aéronefs HAPS et des stations au sol a été estimé dans le cas d'un affaiblissement minimal dû à ces gaz. Cet affaiblissement minimal de propagation a été déterminé conformément à la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R F.1404, elle-même fondée sur la méthode présentée dans la Recommandation UIT-R P.676. Les paramètres climatiques pris comme hypothèse sont donnés dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R F.1404.

Les formules donnant, dans les paragraphes qui suivent, l'affaiblissement atmosphérique sont une approximation des valeurs théoriques. Dans ces formules:

$A_L(h, \theta)$, $A_M(h, \theta)$, $A_H(h, \theta)$: affaiblissement atmosphérique total (dB) dans les zones de latitude faible (inférieure à $22,5^\circ$ par rapport à l'équateur), de latitude moyenne (supérieure à $22,5^\circ$, mais inférieure à 45° depuis l'équateur) et de latitude élevée (45° ou plus depuis l'équateur);

h : altitude de la station au sol au-dessus du niveau de la mer (km);

θ : angle d'élévation (degrés).

L'approximation a été effectuée pour $0 \leq h \leq 3$ km et $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. On peut déterminer l'angle d'élévation réel 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 en dessous de 0° , il convient d'utiliser la valeur d'affaiblissement pour 0° .

1 Bande de fréquences 27,5-28,35 GHz

Dans cette bande de fréquences, l'affaiblissement est légèrement moins important aux fréquences élevées dans les zones de faible ou de moyenne latitude et légèrement plus important aux fréquences élevées dans les zones de latitude élevée. Par conséquent, les formules ci-après donnent l'affaiblissement à 28,35 GHz pour les zones de faible ou de moyenne latitude et l'affaiblissement à 27,5 GHz pour les zones de latitude élevée.

$$A_L(h, \theta) = 21,28 / \left[1 + 0,9505\theta + 0,03065\theta^2 + h(0,3381 + 0,4466\theta) + h^2 (0,2331 + 0,1169\theta) \right] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,63 / \left[1 + 0,8167\theta + 0,02649\theta^2 + h(0,2688 + 0,4486\theta) + 0,1394h^2 \right] \quad (1b)$$

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

2 Bande de fréquences 31-31,3 GHz

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

$$A_L(h, \theta) = 19,54 / \left[1 + 0,9323\theta + 0,02553\theta^2 + h(0,3416 + 0,4413\theta) + h^2(0,1980 + 0,08016\theta) \right] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,76 / \left[1 + 0,8137\theta + 0,02033\theta^2 + h(0,2740 + 0,3935\theta) + 0,1203h^2 \right] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,52 / \left[1 + 0,8160\theta + h(0,2378 + 0,2722\theta) + 0,08949h^2 \right] \quad (2c)$$

Appendice 2 aux Annexes 1 et 2

Paramètres d'un système AHF pour les études de partage

On trouvera dans le présent Appendice les paramètres d'un système AHF en configuration d'exploitation P-MP comprenant une station de base et une station d'abonné et les paramètres d'un système AHF en configuration d'exploitation point à point.

1 Système AHF en exploitation P-MP

Concernant la station de base AHF, trois cas sont envisagés en fonction du diagramme d'antenne et du schéma de réutilisation des fréquences. On suppose ici que les stations de base sont placées tous les 2 km.

Cas a): le diagramme de faisceau d'antenne retenu est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1336-1, et le schéma de réutilisation des fréquences choisi semble assez réaliste (4 stations de base utilisant 4 bandes de fréquences et rayonnant dans 4 secteurs de 90°; on place ces groupes de quatre stations à intervalles réguliers);

Cas b): le diagramme de faisceau d'antenne retenu est fondé sur la Recommandation UIT-R F.1336-1 et toutes les stations de base utilisent la même fréquence qui a été assignée à la station de base (on suppose donc que le diagramme est équidirectif dans la direction de l'azimut);

Cas c): le diagramme de faisceau d'antenne retenu (qui n'est décrit dans aucune Recommandation) est assez réaliste et devrait être adopté par de nombreux fournisseurs de services; le schéma de réutilisation des fréquences est identique à celui qui correspond au Cas a).

Les paramètres de la station de base AHF pour chacun des trois cas susmentionnés et ceux de la station d'abonné AHF, qui sont censés être les mêmes dans tous les cas, sont indiqués respectivement dans les Tableaux 1 et 2. Dans le Cas c), on utilise les caractéristiques cosec, élaborées par un fabricant d'antennes.

TABEAU 1

Paramètres de la station de base d'un système AHF en configuration P-MP

Paramètres	Cas a)		Cas b)		Cas c)	
	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz
Puissance de sortie de l'émetteur (dBW)	-5	-4	-5	-4	-5	-4
Densité spectrale de puissance émise (dB(W/MHz))	-17	-18,1	-17	-18,1	-17	-18,1
Facteur de bruit (dB)	7	6	7	6	7	6
Bruit thermique calculé au niveau du récepteur (dB(W/MHz))	-137	-138	-137	-138	-137	-138
Gain d'antenne (dBi)	15	15	15	15	15	15
Diagramme d'antenne (en azimut, voir la Fig. 10)	Rec. UIT-R F.1336 ⁽¹⁾	Rec. UIT-R F.1336 ⁽¹⁾	Équi-directif	Équi-directif	Caractéristiques cosec	Caractéristiques cosec
Diagramme d'antenne (en élévation, voir la Fig. 11)	Rec. UIT-R F.1336 ⁽²⁾	Caractéristiques cosec	Caractéristiques cosec			
Affaiblissement d'alimentation (dB)	0	0	0	0	0	0
Modulation	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4

⁽¹⁾ Le diagramme de faisceau correspond au gabarit des caractéristiques mesurées indiquées sur la Fig. 15 de l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.1336.

⁽²⁾ Le diagramme de faisceau est décrit par les équations (1a), (1b) et (1c) de la Recommandation UIT-R F.1336.

FIGURE 10

Diagramme de faisceau d'antenne pris pour hypothèse dans la direction de l'azimut

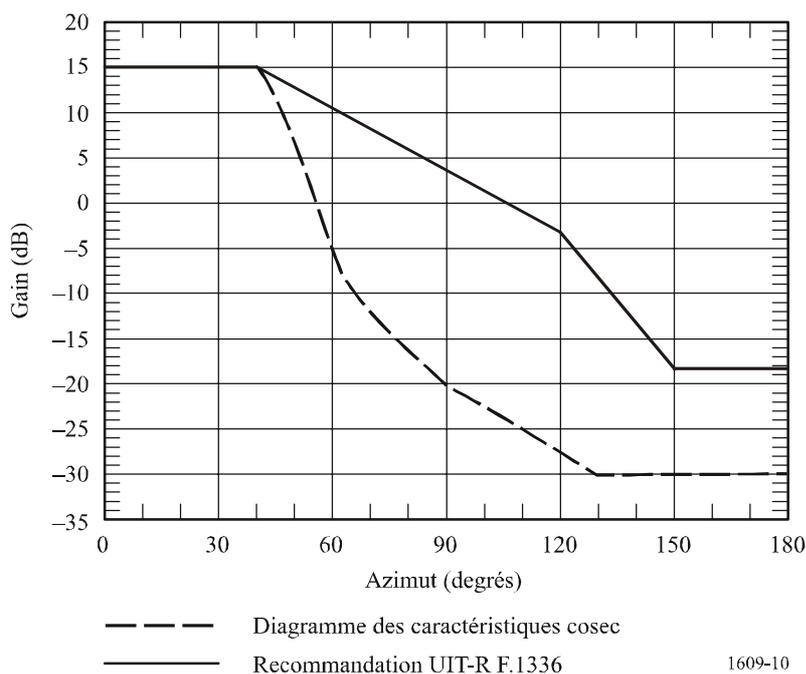
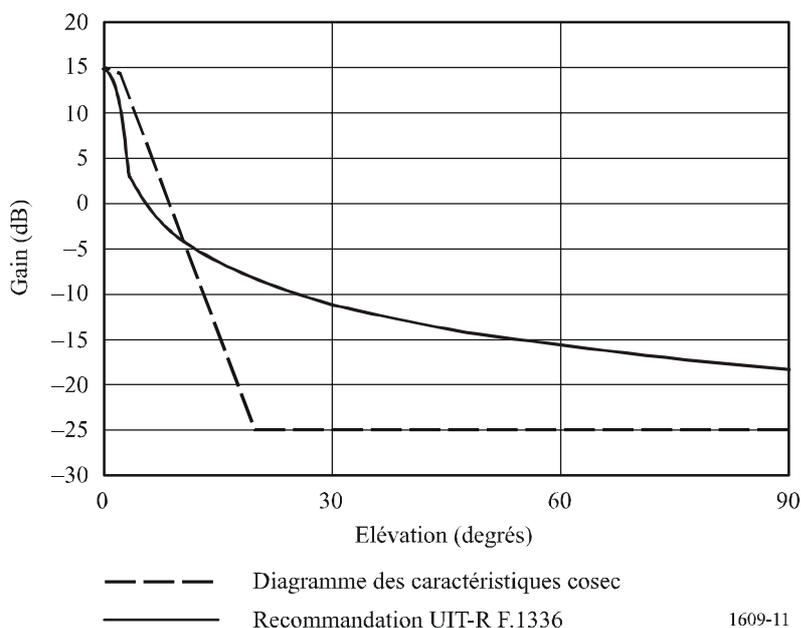


FIGURE 11

Diagramme de faisceau d'antenne pris pour hypothèse dans la direction de l'élévation



1609-11

2 Système AHF en configuration d'exploitation point à point

On trouvera dans le Tableau 3 les paramètres d'une station AHF d'un système point à point. En général la commande de puissance d'émission n'est pas prise en compte pour les systèmes de ce type. Le niveau de puissance du signal émis par une station AHF est toujours adapté aux conditions de pluie.

TABLEAU 2

Paramètres de la station d'abonné d'un système AHF en configuration P-MP

Paramètres	Avec affaiblissement dû à la pluie		Par ciel clair	
	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz
Puissance de sortie de l'émetteur (dBW)	-10	-10	-23	-20
Densité spectrale de puissance émise (dB(W/MHz))	-17	-18,1	-30	-28,1
Facteur de bruit (dB)	7	6	7	6
Bruit thermique calculé au niveau du récepteur (dB(W/MHz))	-137	-138	-137	-138
Gain d'antenne (dBi)	37/43	36/42	37/43	36/42
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245
Affaiblissement d'alimentation (dB)	0	0	0	0
Modulation	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4

NOTE 1 – Concernant le gain d'antenne à 31 GHz, la valeur de 43 dBi correspond à une antenne de 60 cm de diamètre (grande distance), tandis que la valeur de 37 dBi correspond à une antenne de 30 cm de diamètre (courte distance). On suppose que l'antenne de 30 cm de diamètre est utilisée aux angles d'élévation supérieurs à 5° et qu'une antenne de 60 cm de diamètre est utilisée dans les autres cas. On pose les mêmes hypothèses à la fréquence de 28 GHz.

TABLEAU 3

Paramètres d'une station AHF d'un système point à point

Paramètres de sortie de l'émetteur	31 GHz	28 GHz
Puissance (dBW)	-3	-3
Densité spectrale de puissance émise (dB(W/MHz))	-6	-6
Figure de bruit (dB)	7	8
Bruit thermique calculé au niveau du récepteur (dB(W/MHz))	-137	-136
Gain d'antenne (dBi)	37/46	36/46
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245
Affaiblissement d'alimentation (dB)	0	0
Modulation	MDF-4	MDP-4

NOTE 1 – Concernant le gain d'antenne à 31 GHz, la valeur de 46 dBi correspond à une antenne d'environ 90 cm de diamètre (grande distance), tandis que la valeur de 37 dBi correspond à une antenne d'environ 30 cm de diamètre (courte distance). On suppose que l'antenne de 30 cm de diamètre est utilisée aux angles d'élévation supérieurs à 5° et qu'une antenne de 90 cm de diamètre est utilisée dans les autres cas. On pose les mêmes hypothèses à la fréquence de 28 GHz.

Annexe 3

Méthodologie d'évaluation stochastique des brouillages occasionnés par une station placée sur une plate-forme à haute altitude (HAPS) aux stations des systèmes d'accès hertzien fixe dans la bande 27,5-28,35 GHz

1 Introduction

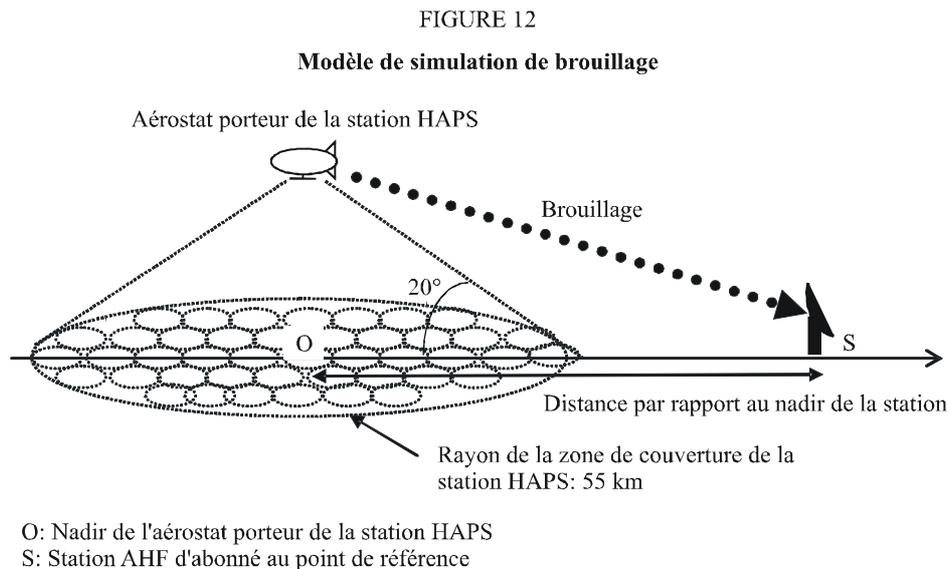
La présente Annexe expose une méthodologie d'évaluation (avec exemples d'application) des brouillages occasionnés par une station placée sur une HAPS aux systèmes AHF exploités dans la bande 27,5-28,35 GHz. Cette méthodologie repose sur une approche stochastique, dans des conditions d'exploitation réalistes. En ce qui concerne les brouillages occasionnés à une station AHF d'abonné, il est évident que le gain de l'antenne de cette station en direction de la station HAPS est un paramètre essentiel. Dans l'évaluation des brouillages, on pose en hypothèse que les antennes des stations AHF d'abonné présentent des angles d'élévation correspondant à la distribution stochastique des systèmes de ce type, et que la distribution des angles d'azimut est aléatoire.

Les brouillages occasionnés aux stations de base de système AHF sont également évalués en fonction de la distance qui les séparent de la station HAPS. Par hypothèse, l'antenne secteur est horizontale et fait face à la station HAPS.

2 Modèle de simulation

2.1 Méthode de calcul

On calcule les brouillages occasionnés par une station HAPS à une station de système AHF en utilisant la configuration de la Fig. 12. La méthode décrite au § 2.1 de l'Annexe 1 de la présente Recommandation est appliquée dans les conditions suivantes.



1609-12

2.1.1 Liaison descendante (HAPS)

Les caractéristiques techniques du système HAPS sont fondées sur la Recommandation UIT-R F1569. On suppose que la puissance de brouillage correspond à la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) totale de l'ensemble des faisceaux ponctuels de la station HAPS, rayonnée vers un point de référence situé dans le même intervalle de fréquence. Pour obtenir des valeurs prudentes, on suppose que la transmission se fait en espace libre.

2.1.2 Station AHF d'abonné

Les paramètres des stations d'abonné sont décrits dans l'Appendice 2 aux Annexes de la présente Recommandation. Les stations d'abonné sont situées en des points de référence, et les angles de pointage des antennes correspondent à la distribution supposée au § 2.3.

2.1.3 Station de base de système AHF

Les paramètres des stations de base sont décrits dans l'Appendice 2 aux Annexes de la présente Recommandation.

2.2 Système HAPS

La configuration type du système HAPS est celle de la Recommandation ITU-R F.1569. Les paramètres qui interviennent dans l'évaluation sont résumés au Tableau 4.

TABLEAU 4

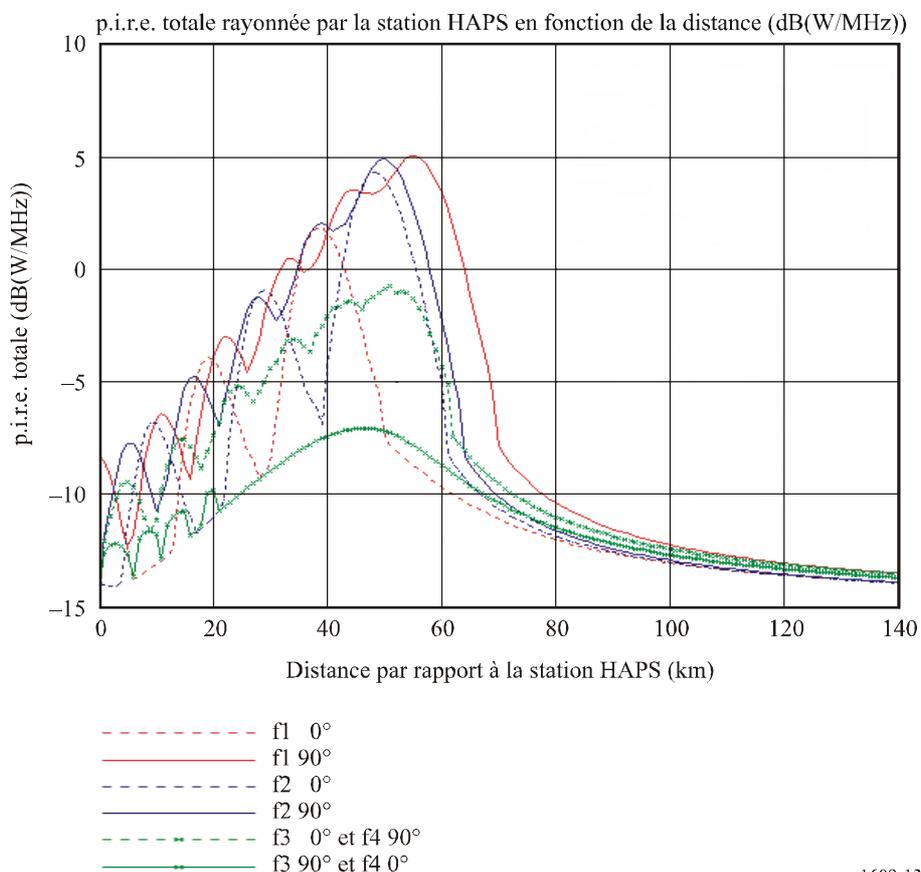
Paramètres de liaison descendante de système HAPS

Paramètre	Description
Nombre de faisceaux	397
Coefficient de réutilisation des fréquences	4
p.i.r.e. totale	Voir la Fig. 13 (f1 90°)
Gain de l'antenne	16,5 à 29,5 dB
Diagramme de rayonnement de l'antenne	Recommandation UIT-R F.1245
Rayon de la zone de couverture	55 km (avec un angle d'élévation minimal de 20°)

Le système comporte 397 faisceaux, avec un coefficient de réutilisation des fréquences de quatre (4), de telle sorte que la puissance d'émission dans le sens station HAPS → sol varie selon l'intervalle de fréquence considéré et l'orientation du rayonnement. La Fig. 13 indique les valeurs de p.i.r.e. correspondant à chaque intervalle de fréquence, exprimées sous forme de paramètres de distance par rapport au nadir de la station HAPS dans deux directions octogonales en azimut (0° et 90° par rapport à l'axe des *x*). On utilise la valeur de p.i.r.e. correspondant à «f1 90°», c'est-à-dire au brouillage le plus défavorable occasionné au système AHF en dehors de la zone de service de la station HAPS.

FIGURE 13

p.i.r.e. totale rayonnée par les 397 faisceaux d'une station HAPS



2.3 Station AHF d'abonné

2.3.1 Paramètres de la station d'abonné

Les paramètres de la station AHF d'abonné sont indiqués au Tableau 2 de l'Appendice 2 aux Annexes de la présente Recommandation. Ce sont ces paramètres qui sont utilisés pour l'évaluation.

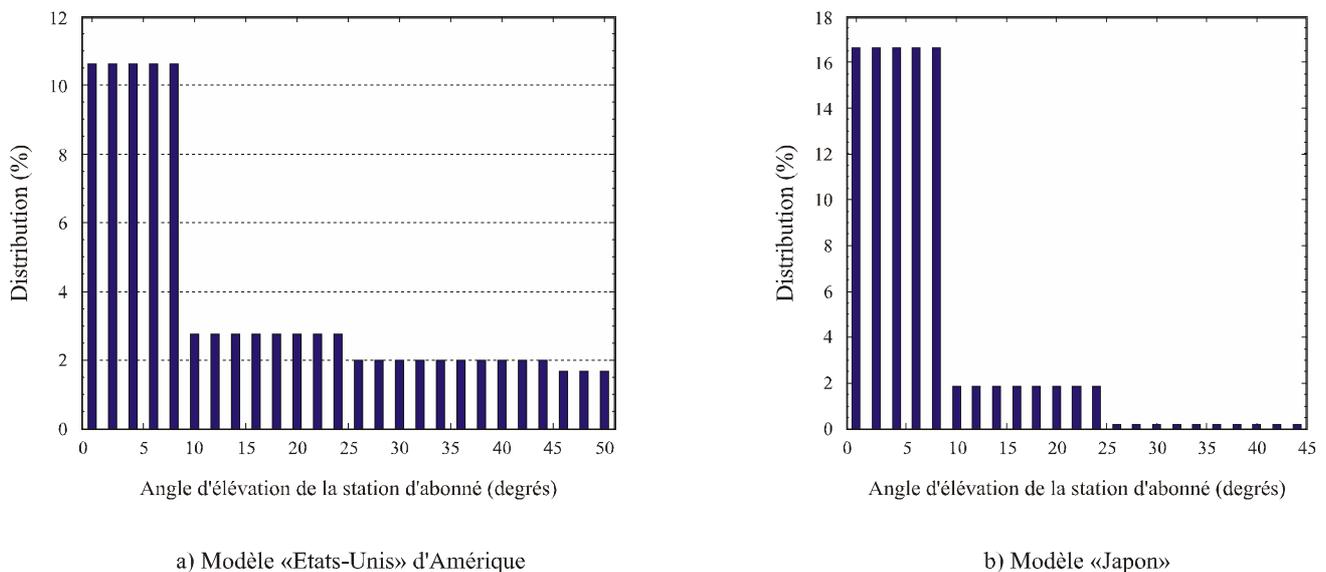
2.3.2 Configuration

Angle d'élévation:

La Recommandation UIT-R F.1498 donne deux exemples de valeurs d'angle d'élévation pour un système AHF dans la bande des 38 GHz, correspondant respectivement au modèle «Etats-Unis» et au modèle «Japon» des Fig. 6 et 8 de l'Annexe 1 de ladite Recommandation. Ces exemples ne suffisent pas pour l'évaluation des brouillages, car la distribution n'est pas assez fine. Dans la présente Recommandation, on pose en hypothèse que la distribution est uniforme dans les gammes considérées. Par exemple, le modèle «Etats-Unis» donne une distribution de 53% pour les angles d'élévation inférieurs à 10°. Cette valeur est multipliée par 53/5% (soit 10,6%), respectivement pour les angles d'élévation de 0°, 2°, 4°, 6° et 8° dans le calcul. Les distributions des angles d'élévation utilisées dans l'évaluation sont indiquées à la Fig. 14.

FIGURE 14

Distribution des angles d'élévation d'une station AHF d'abonné



1609-14

Angle d'azimut

On suppose que les valeurs d'angles d'azimut de station d'abonné sont uniformément distribuées.

Caractéristiques de propagation

Outre l'affaiblissement en espace libre, l'affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique pour la zone de latitudes moyennes visée dans l'Appendice 1 est pris en compte. Les effets éventuels du relief et des bâtiments ne sont pas considérés, de telle sorte que les estimations soient prudentes, mais l'on peut s'attendre à un affaiblissement considérable dans la pratique.

Autres facteurs

La hauteur d'antenne de la station d'abonné n'est pas prise en compte dans la simulation, car ce facteur n'est pas critique dans des conditions de transmission en visibilité directe.

2.4 Station de base de système AHF

On utilise dans la présente étude les paramètres de la station de base de système AHF indiqués dans le Tableau 1 de l'Appendice 2 aux Annexes de la présente Recommandation. L'antenne de la station de base est de type secteur, avec un gain maximal de 15 dB, et son diagramme de rayonnement dans le plan d'élévation est conforme à la Recommandation UIT-R F.1336. On suppose que l'antenne de la station noyau fait face au nadir de la station HAPS pour un angle d'élévation de 0°.

3 Résultats des calculs

Pour la station AHF d'abonné, on évalue les valeurs du rapport brouillage/bruit (I/N) en fonction de la distance entre la station et le nadir de la station HAPS. Les Fig. 15 et 16 indiquent la probabilité de dépassement des valeurs -20 dB et -10 dB du rapport I/N dans le cas des stations d'abonné répondant aux statistiques de distribution supposée des angles d'élévation. Il apparaît que l'on peut remarquablement réduire le rapport I/N avec une séparation de 70 km entre les stations d'abonnés et la station HAPS.

Pour la station AHF de base, les valeurs calculées du rapport I/N peuvent être très réduites en dehors de la zone de service de la station HAPS, comme la Fig. 17 le fait apparaître.

FIGURE 15

Probabilité I/N , station AHF d'abonné: modèle «Etats-Unis» de distribution des angles d'élévation

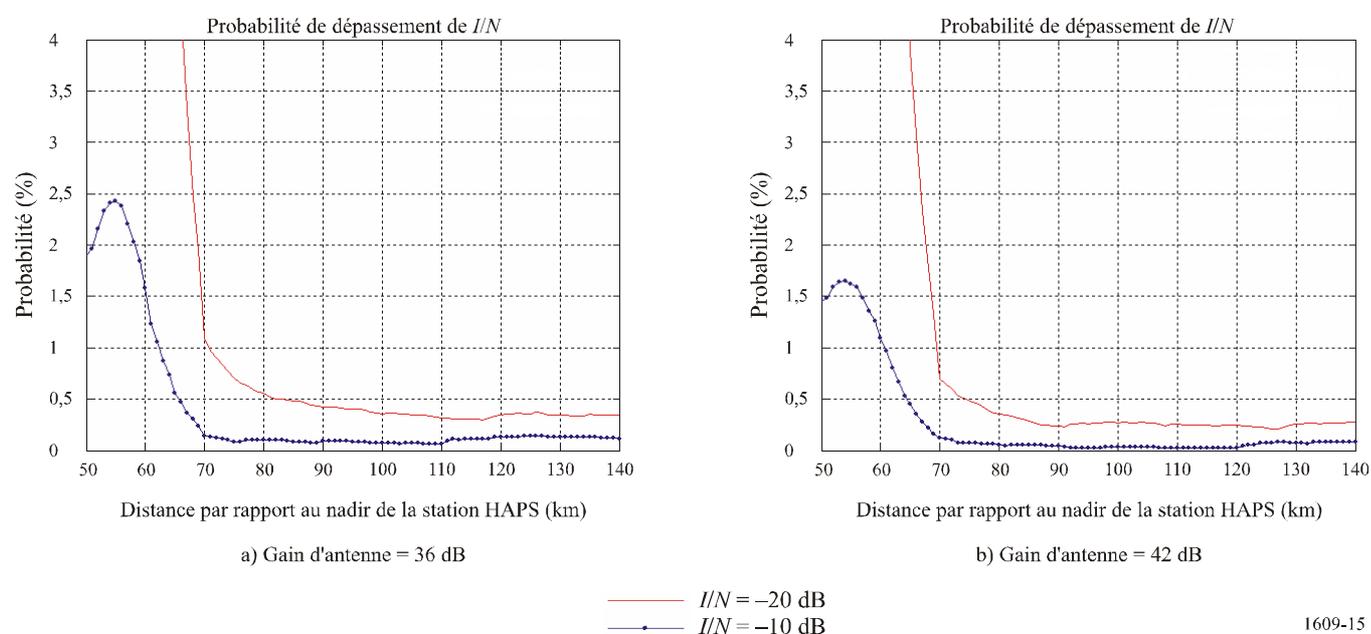
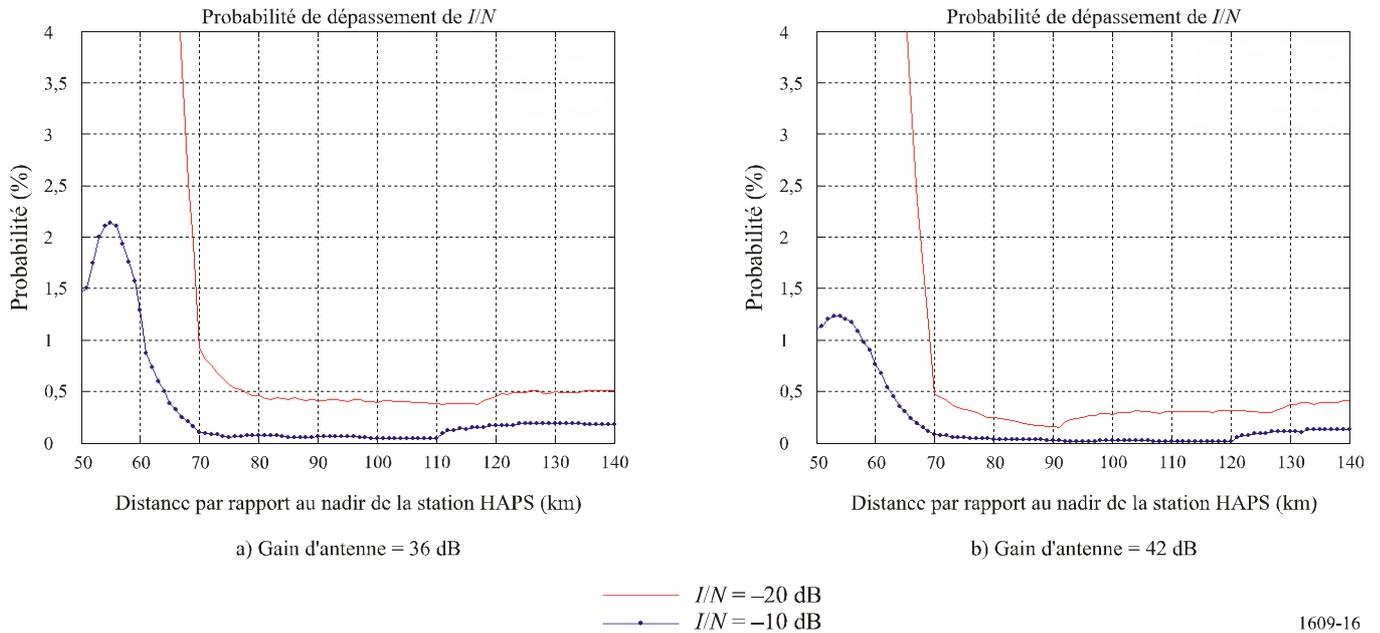
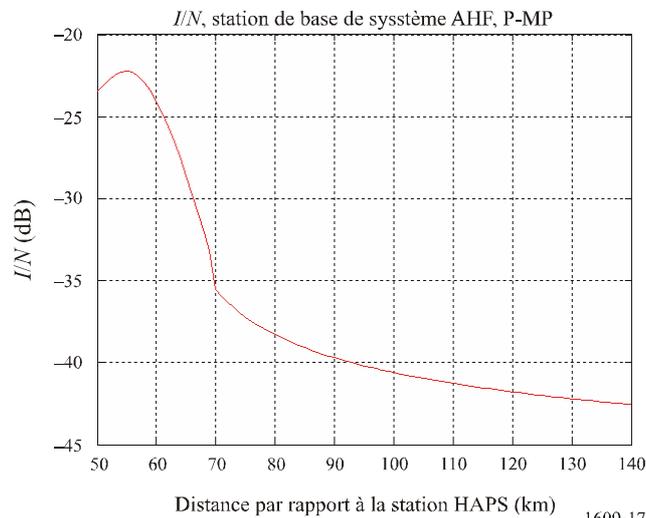


FIGURE 16

Probabilité I/N , station AHF d'abonné: modèle «Japon» de distribution des angles d'élévation

1609-16

FIGURE 17

 I/N , station de base de système AHF

1609-17

4 Résumé

Il a été établi que la probabilité de brouillages occasionnés par une station HAPS à une station AHF d'abonné peut être remarquablement réduite lorsque l'on tient compte des facteurs stochastiques du système AHF. L'évaluation décrite comme exemple fait apparaître que la probabilité de brouillage observable serait remarquablement réduite avec un espacement de 70 km entre la station AHF d'abonné considérée et le nadir de la station HAPS.

En ce qui concerne la station de base de système AHF, le rapport I/N maximal serait inférieur à -20 dB, même dans les conditions les plus défavorables.

Il convient de noter que cette évaluation reste prudente et que les brouillages pourraient être réduits davantage dans des conditions d'exploitation réelles, compte tenu d'autres facteurs de propagation (occultation par les bâtiments, affaiblissements dus à l'atmosphère et affaiblissements dus à la pluie).
