

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R F.1764-1 (05/2011)

Méthode d'évaluation des brouillages causés par les liaisons d'utilisateur des systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude aux systèmes hertziens fixes exploités dans les bandes au-dessus de 3 GHz

**Série F
Service fixe**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R F.1764-1

Méthode d'évaluation des brouillages causés par les liaisons d'utilisateur des systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude aux systèmes hertziens fixes* exploités dans les bandes au-dessus de 3 GHz

(2006-2011)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit une méthode d'évaluation des brouillages qui pourrait être utilisée dans les études de partage entre les liaisons d'utilisateur du service fixe (SF) utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) et les systèmes hertziens fixes classiques exploités dans les bandes de fréquences au-dessus de 3 GHz. Divers scénarios de brouillage entre d'une part les dirigeables HAPS et les stations au sol et d'autre part les stations hertziennes fixes sont analysés. Les liaisons passerelle HAPS ne sont pas examinées dans la présente Recommandation.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nouvelles techniques des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) situées dans la stratosphère ont été mises au point pour offrir des services de grande capacité;
- b) que certaines administrations ont l'intention d'exploiter des systèmes utilisant des stations HAPS dans les bandes attribuées en exclusivité aux radiocommunications de Terre, par le biais du Tableau d'attribution des bandes de fréquences ou de renvois, comme le service fixe;
- c) que la Recommandation UIT-R F.1891 donne des renseignements sur les architectures, notamment sur les liaisons d'utilisateur et les liaisons passerelle, des systèmes utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude dans la bande 5 850-7 075 MHz;
- d) que les liaisons d'utilisateur des stations HAPS peuvent fonctionner dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz;
- e) que, dans certains pays, les liaisons d'utilisateur des stations HAPS peuvent fonctionner dans la bande 27,9-28,2 GHz et 31,0-31,3 GHz,

recommande

1 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour évaluer les brouillages causés par les liaisons d'utilisateur des systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude aux systèmes hertziens fixes exploités dans les bandes au-dessus de 3 GHz.

* Dans la présente Recommandation, par «système hertzien fixe» on entend les système hertziens fixes point à point. Par conséquent, on utilise également le terme de «station hertzienne fixe».

Annexe 1

Méthode d'évaluation des brouillages causés par les liaisons d'utilisateur des systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude aux systèmes hertziens fixes exploités dans les bandes au-dessus de 3 GHz

1 Introduction

La présente annexe décrit une méthode d'évaluation des brouillages à utiliser pour les études de partage entre les liaisons d'utilisateur des systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS et les systèmes hertziens fixes exploités dans les bandes de fréquences au-dessus de 3 GHz. Divers scénarios de brouillage entre d'une part les plates-formes HAPS et les stations au sol et, d'autre part, les stations hertziennes fixes, sont examinés.

Elle donne également un exemple d'évaluation des brouillages à 6 GHz¹. Cette fréquence est prise pour hypothèse uniquement à titre d'exemple d'évaluation des brouillages.

2 Méthode de calcul des brouillages causés par les systèmes du service fixe utilisant des stations HAPS aux systèmes hertziens fixes

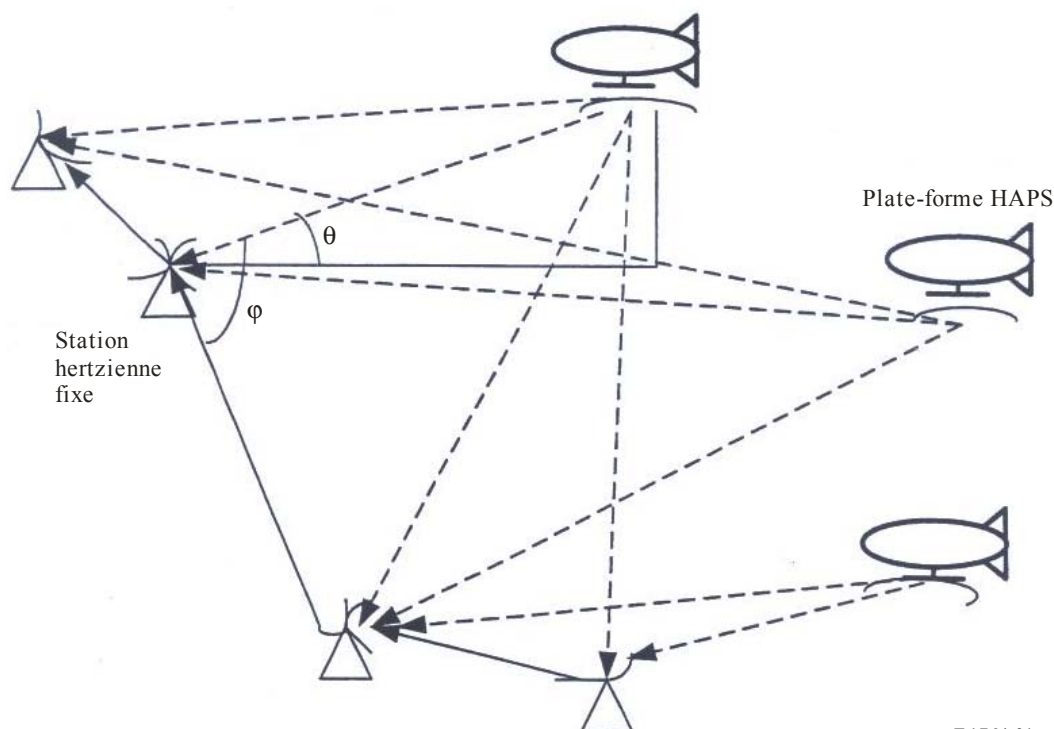
2.1 Brouillage causé par des plates-formes HAPS à des stations hertziennes fixes

La Fig. 1 illustre le scénario de brouillage entre des plates-formes HAPS et des stations hertziennes fixes.

¹ La fréquence 6 GHz n'est pas située dans une bande attribuée en exclusivité aux radiocommunications de Terre. Elle a été choisie aux fins de la présente analyse pour faciliter l'élaboration de la méthode car les données techniques disponibles concernaient avant tout les systèmes de Terre.

FIGURE 1

Scénario de brouillage entre plates-formes HAPS et stations hertziennes fixes



F.1764-01

A l'heure actuelle, la plupart des systèmes du SF utilisent la modulation numérique. Dans le cas de systèmes numériques du service fixe point à point ou point-multipoint (P-MP), il convient d'évaluer le brouillage en termes de dégradation relative de la facilité de fonctionnement FDP_{route} , telle qu'elle est définie dans la Recommandation UIT-R F.1107, en admettant que le niveau de brouillage ne varie pas en fonction du temps.

Pour les systèmes numériques point à point du service fixe avec n bonds, exploités à des fréquences où les évanouissements dus à la propagation par trajets multiples sont en général prédominants et compte tenu du fait que, en règle générale, les objectifs de qualité de fonctionnement pour les systèmes point à point à plusieurs bonds du SF sont indiqués trajet par trajet comme suit:

$$FDP_{route} = 100 \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad \% \quad (1)$$

où:

N_T : bruit thermique du récepteur

I_k : brouillage cumulé causé par les plates-formes HAPS visibles au k ème récepteur.

NOTE 1 – Ce modèle représente un système à plusieurs bonds d'une station hertzienne fixe pour les études de base sur les brouillages, qui correspond à l'époque où les systèmes hyperfréquences assuraient un trafic longue distance de forte capacité. Toutefois, du fait du développement de réseaux à fibres optiques en zones urbaines, nationaux et internationaux, ces systèmes sont rapidement remplacés par des systèmes de raccordement acheminant des types de trafic très divers et raccordés au réseau à fibres optiques. En conséquence, la plupart des déploiements actuels comportent essentiellement des liaisons courte distance. Les analyses fondées sur une dégradation de la qualité de fonctionnement de bout en bout de 50 bonds causée par des brouillages ne seront pas nécessairement applicables, et il faudra plutôt protéger chaque bond individuellement.

Il est possible de calculer le brouillage cumulatif que subit une station hertzienne fixe numérique en additionnant la contribution de brouillage de toutes les plates-formes HAPS visibles. Chaque contribution peut être déterminée comme suit:

$$I_D = F(\theta) + G(\varphi) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr} \quad (2)$$

où:

- $F(\theta)$: puissance surfacique de la plate-forme HAPS en fonction de l'angle d'arrivée au-dessus du plan horizontal, θ (dB(W/(m² · MHz)))
- $G(\varphi)$: gain d'antenne de la station hertzienne fixe en direction de la plate-forme HAPS, φ (dBi)
- λ : longueur d'onde de la porteuse (m)
- L_{fr} : affaiblissement d'alimentation de la station hertzienne fixe (dB).

2.2 Brouillage causé par des stations au sol de systèmes HAPS à une station hertzienne fixe

La Fig. 2 illustre le scénario de brouillage entre des stations au sol de systèmes HAPS et une station hertzienne fixe.

La puissance du signal brouilleur rayonné par une station au sol de systèmes HAPS et reçu par une station hertzienne fixe est donnée par l'équation (3):

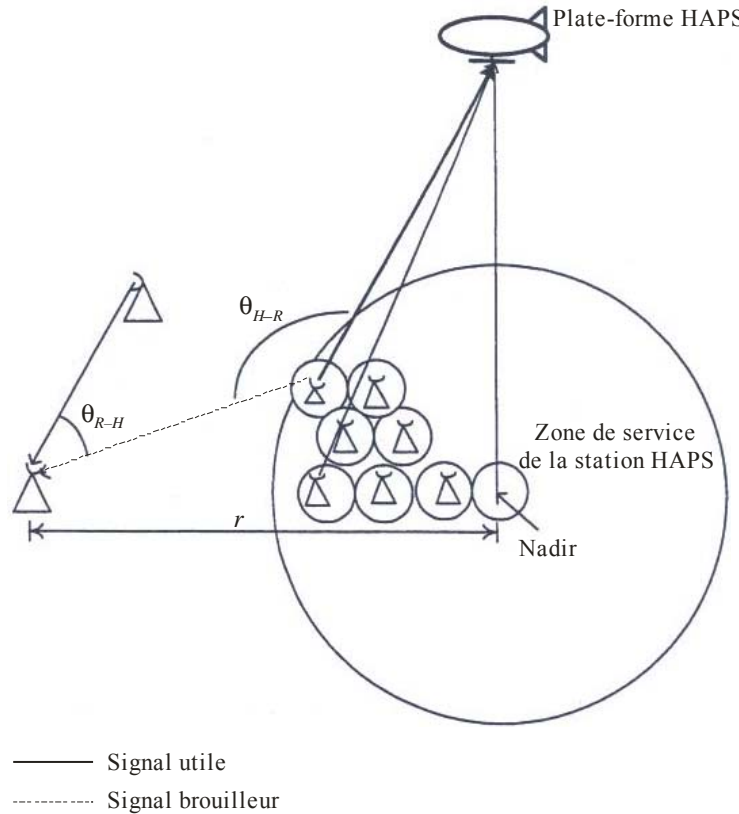
$$I_G = P_{HG} - L_{fh} + G(\theta_{H-R}) - L_b(p) + G(\theta_{R-H}) - L_{fr} \quad (3)$$

où:

- P_{HG} : densité de la puissance d'émission rayonnée par la station au sol du système HAPS (dB(W/MHz))
- L_{fh} : affaiblissement d'alimentation de la station au sol du système HAPS (dB)
- $G(\theta_{H-R})$: gain de l'antenne d'émission de la station au sol du système HAPS à l'angle θ_{H-R} formé par la direction du faisceau principal de la station au sol du système HAPS et la direction de la station hertzienne fixe brouillée (dBi)
- $L_b(p)$: affaiblissement de propagation qui n'est pas dépassé pendant un pourcentage, p (%) donné dans la Recommandation UIT-R P.452
- $G(\theta_{R-H})$: gain de l'antenne de réception de la station hertzienne fixe à l'angle θ_{R-H} formé par la direction du faisceau principal de la station hertzienne fixe et la direction de la station au sol du système HAPS brouilleur (dBi)
- L_{fr} : affaiblissement d'alimentation de la station hertzienne fixe (dB).

FIGURE 2

Scénario de brouillage entre des stations au sol de systèmes HAPS et une station hertzienne fixe



F.1764-02

La puissance du signal bouilleur reçu par une station hertzienne fixe et rayonné par plusieurs stations au sol de systèmes HAPS peut être exprimée à l'aide de l'équation (4), compte tenu du mécanisme indiqué dans la Fig. 3.

Dans l'équation (4), on suppose que l'absorption atmosphérique peut être ignorée sur le trajet de propagation en visibilité directe au-dessous de 10 GHz et que le modèle de propagation utilisé est basé sur la Recommandation UIT-R P.452, le pourcentage de temps, p , étant égal à 50%:

$$I_{G-T} = P_{HG} - L_{fh} - 92,5 - 20 \log f + 10 \log \left\{ \sum_i \sum_j \left(\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2} \right)^{-2} 10^{\frac{G(\theta_{R-H})}{10}} 10^{\frac{G(\theta_{H-R})}{10}} \right\} - L_{fr} \quad (4)$$

où:

f : fréquence (GHz)

$$x_{ij} = \begin{cases} r + id & (j = \text{even}) \\ r + \frac{(2i-1)}{2}d & (j = \text{odd}) \end{cases} : x \text{ position de la station au sol du système HAPS}$$

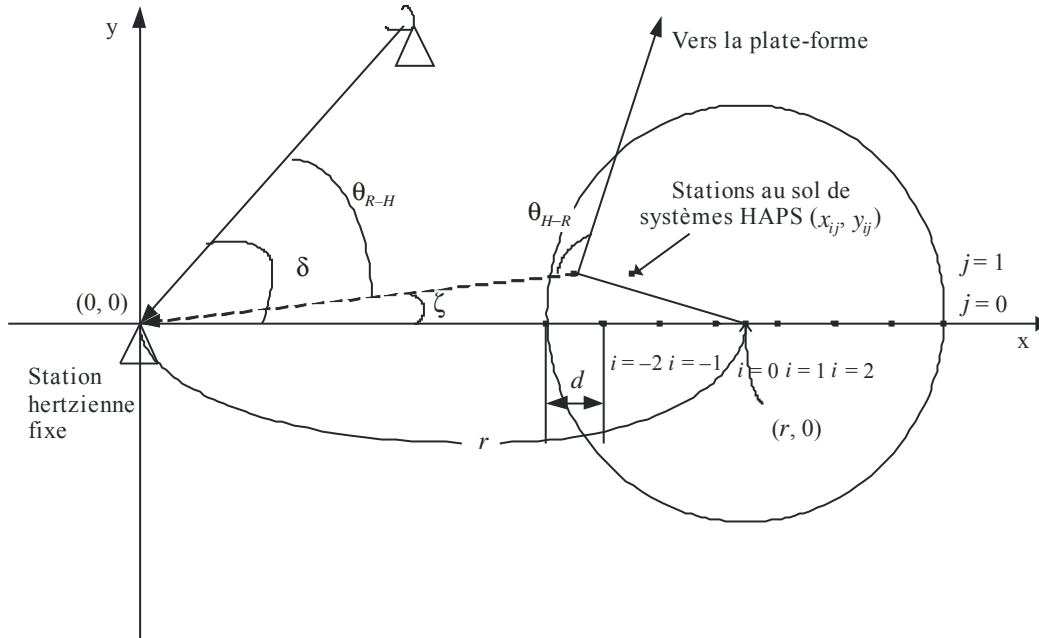
$y_{ij} = jd \sin 60^\circ$: y position de la station au sol du système HAPS

r : distance entre la station hertzienne fixe et le nadir du dirigeable de la plate-forme HAPS

- d : distance entre les stations au sol de systèmes HAPS
 i, j : emplacement de la cellule, respectivement sur l'axe des x et sur l'axe des y .

FIGURE 3

Mécanisme de calcul du brouillage causé par des stations au sol de systèmes HAPS à une station hertzienne fixe



F.1764-03

Une fois évalué le niveau de brouillage causé à une station hertzienne fixe, le rapport brouillage/bruit, I/N , peut être évalué comme suit:

$$I/N = I_{G-T} - \{ 10 \log(k T B) + NF \} \quad \text{dB} \quad (5)$$

où:

- k : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ (J/K)
- T : température (K)
- B : largeur de bande (Hz)
- NF : facteur de bruit de la station hertzienne fixe (dB).

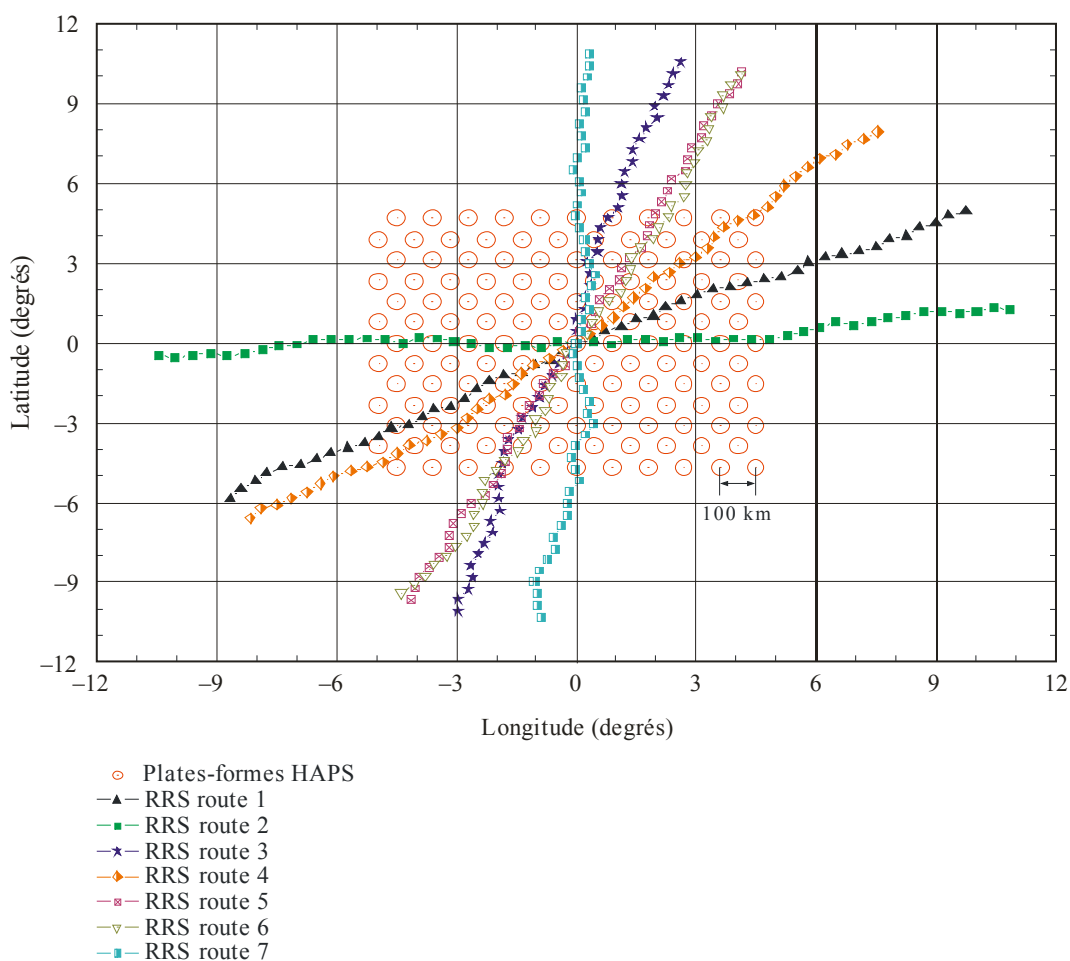
3 Exemple d'évaluation du brouillage causé par des systèmes HAPS à des systèmes hertziens fixes

3.1 Brouillage causé par des plates-formes HAPS à des stations hertziennes fixes

La Fig. 4 illustre le modèle de distribution des plates-formes HAPS et des stations hertziennes fixes qui a été pris pour hypothèse pour évaluer le brouillage.

FIGURE 4

Modèle de distribution des stations hertziennes fixes et des plates-formes HAPS



1764-04

Les plates-formes HAPS en un point fixe, à une altitude de 20 km, peuvent couvrir une zone de service de 110 km de diamètre au sol (angle d'élévation: 20°) de sorte que l'emplacement du nadir de la plate-forme HAPS peut suivre une distribution uniforme tous les 100 km, compte tenu du chevauchement des zones de service comme illustré dans la Fig. 4. On suppose que les plates-formes HAPS sont uniformément réparties dans une zone de $1\,000 \times 1\,000 \text{ km}^2$.

On suppose que la distribution des trajets brouillés du système hertzien fixe composé de 50 bonds se fait par alignement du centre de chacun des trajets avec le centre de la distribution des plates-formes.

Le Tableau 1 donne les paramètres d'un système hertzien fixe et d'une plate-forme HAPS utilisés pour les calculs. La fréquence de 6 GHz a été choisie uniquement à titre d'exemple pour l'évaluation du brouillage. Dans la présente annexe, toutes les coordonnées utilisées d'évaluation des brouillages tiennent compte de la courbure de la Terre.

TABLEAU 1

Paramètres communs d'un système hertzien fixe et d'une plate-forme HAPS

Paramètres		Valeurs
Fréquence		6 GHz
Système hertzien fixe	Nombre de bonds par trajet	50
	Distance entre les bonds	50 km
	Nombre de trajets	600
Plate-forme HAPS	Nombre de plates-formes	126
	Altitude	20 km

Le Tableau 2 donne les paramètres d'un système hertzien fixe numérique et d'une plate-forme HAPS utilisés pour les calculs. Les paramètres du système hertzien fixe pour le partage des fréquences sont également basés sur la Recommandation UIT-R F.758.

Dans les bandes où l'on observe des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples, la Recommandation UIT-R F.758 précise que le niveau de brouillage par rapport au bruit thermique du récepteur ne devrait pas en principe dépasser -10 dB (ou -6 dB). Dans le cas de systèmes numériques du service fixe, ces valeurs correspondent à une dégradation relative de la qualité de fonctionnement, FDP, de 10% (ou 25%) respectivement. Toutefois, étant donné que cette utilisation se superposerait aux liaisons déjà en place qui ont fait l'objet d'une coordination avec d'autres systèmes, la marge de 10% risque d'avoir été déjà entièrement utilisée. Afin de ne pas augmenter les brouillages, il sera peut-être nécessaire de ramener les brouillages à moins de 1 ou 2%. Toutefois, pour illustrer la méthode, en admettant que le niveau de protection requis soit de 10%, les distributions estimées du brouillage causé par des plates-formes HAPS à des stations hertziennes fixes numériques sont illustrées sur les Fig. 5 et 6, pour les variables pdf_{low} et pdf_{high} .

TABLEAU 2

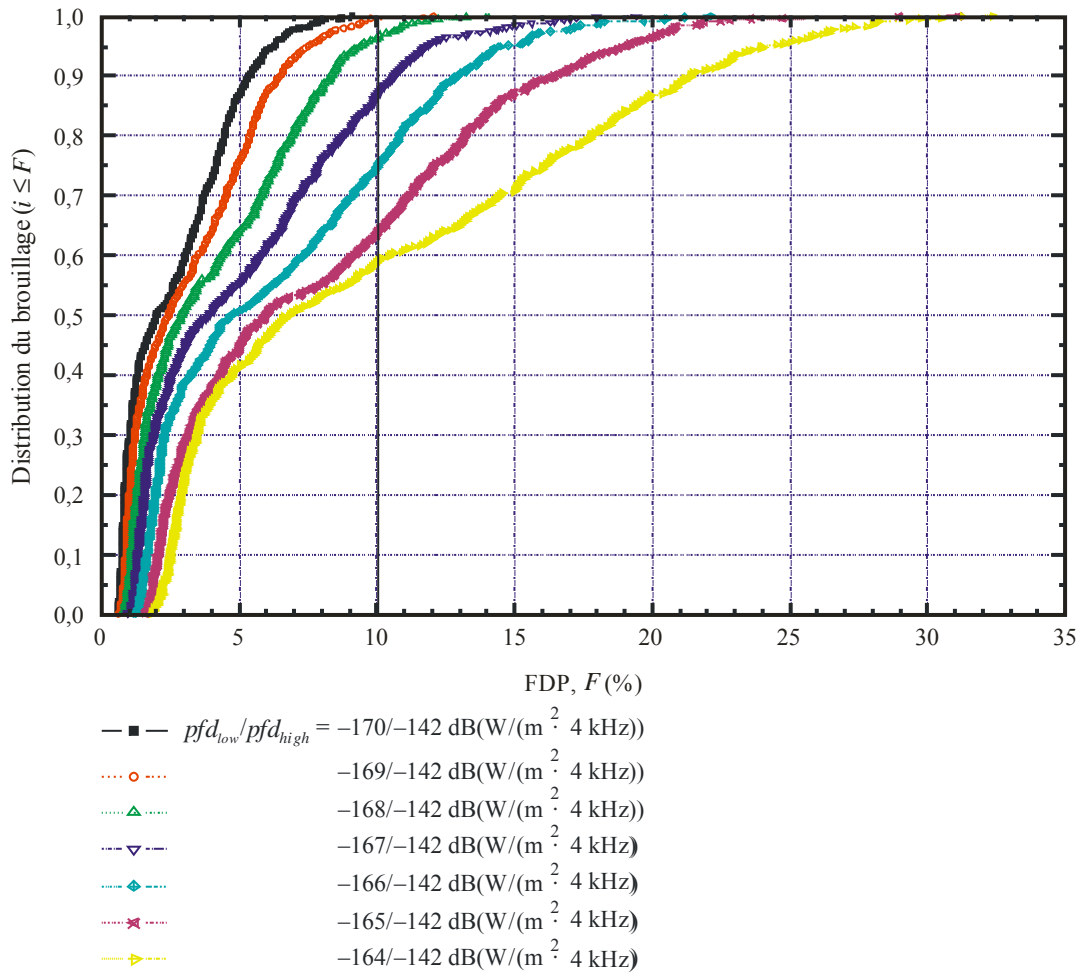
Paramètres d'un système hertzien fixe numérique et d'un dirigeable HAPS

Paramètres		Spécifications
Système hertzien fixe	Diagramme de rayonnement d'antenne	Recommandation UIT-R F.1245
	Gain d'antenne maximal	45 dBi
	Affaiblissement d'alimentation	5,5 dB
	Facteur de bruit du récepteur	4 dB
	Angle d'élévation entre stations hertziennes fixes	Distribution gaussienne
Plates-formes HAPS	pdf_{low}	$-146 \simeq 140$ (dB(W/(m ² · MHz)))
	pdf_{high}	$-127 \simeq 118$ (dB(W/(m ² · MHz)))

Dans la Fig. 5 où le niveau de puissance surfacique d'une plate-forme HAPS est, par hypothèse, pris égal à $-140/-118$ (dB(W/(m² · MHz))), la dégradation relative de la qualité de fonctionnement des stations hertziennes fixes serait inférieure à 10% sur 58% des trajets. Au fur et à mesure que pdf_{low} diminue, le brouillage subi diminue lui aussi. Par exemple, lorsque pdf_{low} diminue de 6 dB, c'est-à-dire, $pdf_{low} = -146$ (dB(W/(m² · MHz))), la dégradation relative de la qualité de fonctionnement des stations hertziennes fixes sur 100% des trajets serait inférieure au critère de brouillage de 10% qui a été pris pour hypothèse.

FIGURE 5

Distribution de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement due à des plates-formes HAPS, avec pdf_{low}



F.1764-05

La Fig. 6 illustre la distribution du brouillage en fonction des variations de pfd_{high} , lorsque pfd_{low} est égale à -145 (dB(W/(m² · MHz))). Même si pfd_{high} diminue de 6 dB par rapport à -121 (dB(W/(m² · MHz))), la différence maximale de la distribution de brouillage au-dessous de 10% n'est que de 5% environ.

3.2 Brouillage causé par des stations au sol de systèmes HAPS à une station hertzienne fixe

Le Tableau 3 donne les paramètres d'un système hertzien fixe et d'un système HAPS utilisés pour les calculs.

FIGURE 6

Distribution de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement due à des plates-formes HAPS, avec pdf_{high}

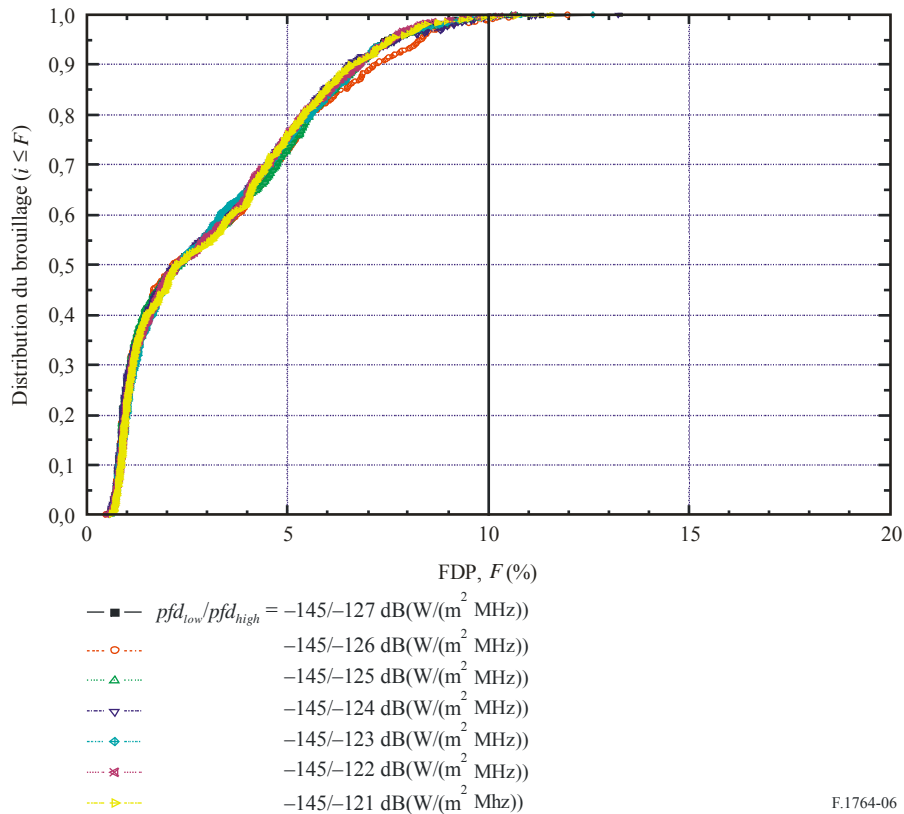


TABLEAU 3

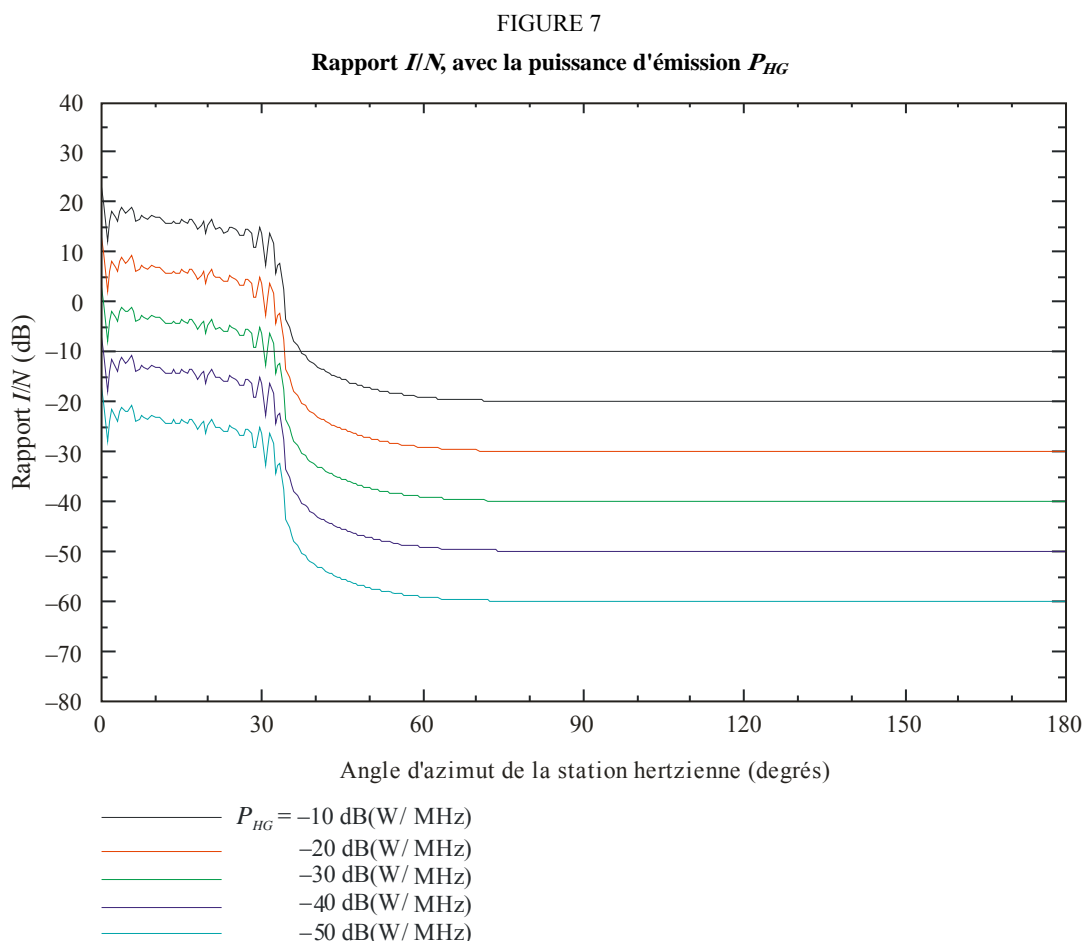
Paramètres d'un système hertzien fixe et d'un système HAPS

Paramètres		Valeurs
Fréquence		6 GHz
Système hertzien fixe	Diagramme de rayonnement d'antenne	Recommandation UIT-R F.1245
	Gain maximal d'antenne	45 dBi
	Facteur de bruit	4 dB
	Affaiblissement d'alimentation	5,5 dB
Système HAPS	Diamètre de la zone de couverture	110 km
	Altitude de la plate-forme	20 km
	Diagramme de rayonnement de l'antenne de la station au sol	Recommandation UIT-R F.1245
Système HAPS	Gain d'antenne maximal de la station au sol	45 dBi
	Nombre de stations au sol	367 (distribution uniforme)
	Distance entre stations au sol	5,5 km

Dans l'hypothèse où $T = 293$ K, $B = 1$ MHz, et $NF = 6$ dB, la puissance de bruit N est égale à $-137,93$ (dB(W/MHz)). Si on prend par hypothèse un rapport I/N de 10% comme critère, la puissance de brouillage admissible I_{G-T} devrait être inférieure à $-147,93$ (dB(W/MHz)).

Etant donné que I_{G-T} est fonction de la puissance d'émission de la station au sol du système HAPS, de l'angle entre les trajets des signaux et de la distance entre la station hertzienne et le nadir de la plate-forme HAPS, le rapport I/N avec ces paramètres peut être calculé à l'aide de l'équation (8).

La Fig. 9 donne les valeurs du rapport I/N avec la puissance d'émission P_{HG} à chaque angle d'azimut, δ lorsque la distance r est égale à 100 km. Il ressort de cette figure que la puissance de brouillage est naturellement affectée par la puissance d'émission de chaque station au sol de système HAPS et que lorsque $P_{HG} = -50$ (dB(W/MHz)), le rapport I/N ne dépasse pas -10 dB pour tous les angles d'azimut.

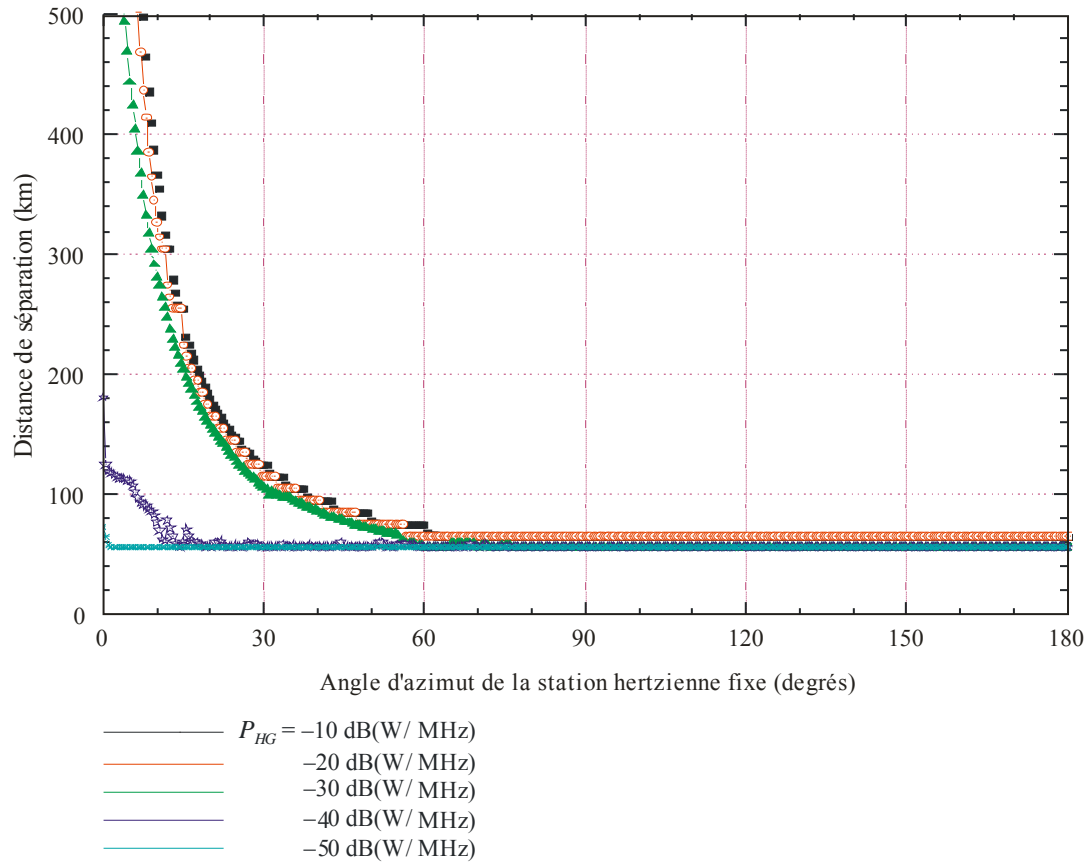


F.1764-07

Les Fig. 8 et 9 indiquent la distance de séparation entre la station hertzienne fixe et le nadir de la plate-forme HAPS. La distance de séparation doit être maximale pour l'angle d'azimut $\delta = 0^\circ$. Lorsque le rayon de la zone de couverture de la plate-forme HAPS est de 55 km et que la puissance d'émission par station au sol de système HAPS P_{HG} est de -50 (dB(W/MHz)), la distance de séparation nécessaire pour un partage entre stations hertziennes fixes et stations au sol de systèmes HAPS est comprise entre 56 et 73 km.

FIGURE 8

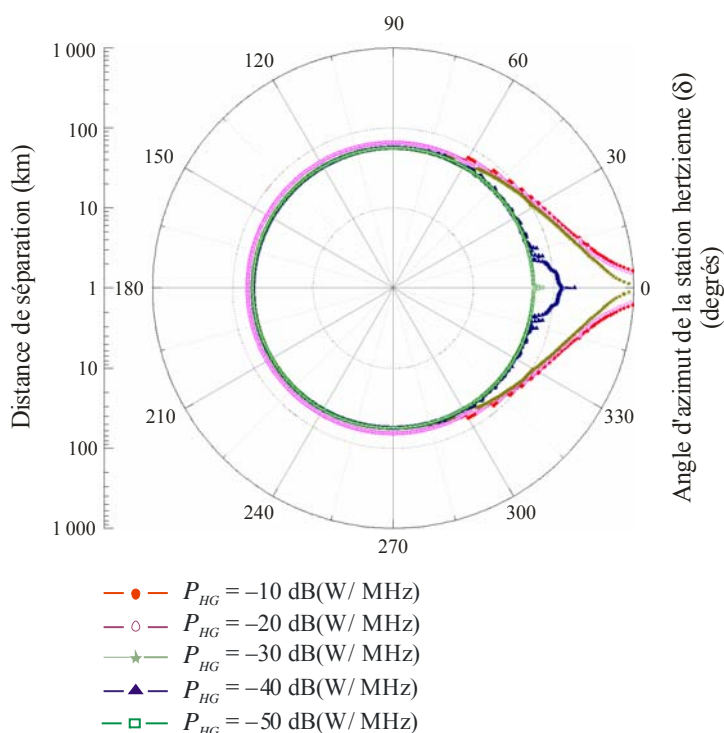
Distance de séparation entre une station hertzienne fixe et le nadir
d'une plate-forme HAPS avec la puissance d'émission
des stations au sol de systèmes HAPS



F.1764-08

FIGURE 9

Distance de séparation entre une station hertzienne et le nadir d'une plate-forme HAPS
(graphique polaire)



F.1764-09

4 Résumé

La présente annexe décrit une méthode d'évaluation du brouillage causé par des liaisons d'utilisateur d'un système HAPS à un système hertzien fixe; l'exemple d'évaluation du brouillage est fait à 6 GHz. Cette fréquence n'est prise pour hypothèse que pour illustrer un exemple d'évaluation du brouillage.

Le brouillage causé par des plates-formes HAPS à des stations hertziennes fixes est évalué en fonction des variations du niveau de puissance surfacique d'une plate-forme HAPS à la surface de la terre. Dans le modèle, on utilise une dégradation relative de la qualité de fonctionnement de bout en bout de 10% établie sur 50 bonds. Toutefois, étant donné qu'il faut protéger chaque bond individuellement, les critères de protection devraient être fondés sur une protection (rapport I/N) de chaque récepteur victime. En outre, il est nécessaire d'adopter un critère approprié, étant donné que le service HAPS se superposera dans une bande déjà encombrée.

Le brouillage causé par des stations au sol de systèmes HAPS à une station hertzienne fixe doit être évalué sous forme du rapport brouillage/bruit et on calcule la distance de séparation nécessaire pour le partage en fonction de l'angle d'azimut.