

RECOMMANDATION UIT-R SF.1481-1

Partage de fréquences entre systèmes du service fixe utilisant des stations placées sur des plates-formes à haute altitude et systèmes à satellites géostationnaires du service fixe par satellite dans les bandes 47,2-47,5 et 47,9-48,2 GHz

(Questions UIT-R 251/4 et UIT-R 218/9)

(2000-2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que de nouvelles technologies sont en cours d'élaboration utilisant les relais de télécommunication placés sur des plates-formes à haute altitude en des points fixes de la stratosphère (voir la Note 1);
- b) que les systèmes utilisant une ou plusieurs stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS) en des points fixes de la stratosphère peuvent présenter les caractéristiques souhaitables pour des communications numériques à large bande et à haut débit, notamment des applications de vidéo interactive, avec un potentiel significatif de réutilisation de fréquences et capables de desservir des zones fortement peuplées;
- c) que de tels systèmes devraient être en mesure de couvrir des régions métropolitaines avec des angles d'élévation importants et des longueurs de trajet peu importantes, et des régions périphériques rurales ou des pays voisins avec des angles d'élévation faibles mais sans diminution de capacité;
- d) que les services numériques à large bande fournis par ces systèmes dans le service fixe visent à fournir des infrastructures étendues de communication promouvant le réseau d'Infrastructure mondiale d'information (GII);
- e) que dans les régions à forte densité de population et d'entreprises, le nombre d'utilisateurs de ces services est supposé être très grand;
- f) que le spectre radioélectrique au-dessus de 30 GHz est attribué à une variété de services de radiocommunication et qu'un grand nombre de systèmes différents utilisent déjà ou comptent utiliser ces attributions de bandes de fréquences;
- g) que les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz sont attribuées au service fixe par satellite (SFS), notamment aux systèmes non-géostationnaires (non OSG) dans la direction Terre vers espace;
- h) qu'il existe une demande croissante d'accès à ces attributions;
- j) que, selon le numéro 5.552A du Règlement des radiocommunications (RR), l'attribution au service fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz est réservée à l'usage des HAPS;
- k) que conformément à la Résolution 122 (Rév.CMR-2000), les administrations sont encouragées à contribuer à la coordination entre systèmes utilisant des HAPS et fonctionnant dans le service fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz et d'autres services de radiocommunication à titre primaire avec égalité des droits sur leur territoire et sur des territoires voisins;
- l) que, dans la mesure où des systèmes du service fixe utilisant des HAPS peuvent utiliser la gamme complète des angles d'élévation, le partage avec le SFS peut présenter des difficultés;

- m) que de tels systèmes placés sur des plates-formes à haute altitude peuvent ne pas présenter les mêmes difficultés de partage avec les liaisons de connexion des satellites de radiodiffusion en utilisant les bandes de fréquences du SFS;
- n) que, du fait des pertes élevées par diffraction à ces fréquences, le brouillage peut être minimisé en tirant profit d'une protection locale pour réduire le rayonnement des lobes latéraux;
- o) qu'un système du service fixe utilisant des HAPS est décrit dans la Recommandation UIT-R F.1500,

recommande

- 1 que, pour faciliter le partage dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz, les stations terriennes du SFS utilisent des antennes d'un diamètre minimum de 2,4 m ou d'autres types d'antennes de qualité similaire;
- 2 que, lors de l'installation de stations d'utilisateurs ou de stations d'entrée sur le service fixe utilisant des HAPS ou de stations terriennes du SFS, on tire profit de la topographie locale ou de structures artificielles afin de maximiser la protection contre les rayonnements du lobe latéral tout en préservant la qualité de fonctionnement du système. Ce point peut concerner l'installation d'antennes à la hauteur minimale acceptable au-dessus du niveau du sol;
- 3 que, dans les régions où un système HAPS doit en principe fournir un service à un très grand nombre de terminaux, on ne s'attend pas en général à pouvoir mettre en oeuvre le partage avec des stations terriennes du SFS. Pour le système HAPS type décrit dans la Recommandation UIT-R F.1500, avec des zones de service symétriques autour du point nadir, on estime que la limite de ce type de service se situe à la limite extérieure de la zone de couverture suburbaine à environ 80 km du nadir;
- 4 que, dans la zone de couverture rurale et au-delà d'un rayon de 80 km, la fourniture d'un service à un très grand nombre de terminaux ne soit pas envisageable et que le partage avec des stations terriennes du SFS pourrait être faisable à condition que les stations terriennes du SFS disposent d'une discrimination angulaire suffisante entre la plate-forme HAPS et le satellite du SFS. On ne peut souvent atteindre une telle discrimination angulaire que si la station terrienne du SFS est située en dehors de la zone de couverture HAPS ou si l'axe de visée du satellite du SFS pointe en dehors de la zone de couverture HAPS;
- 5 que pour des stations terriennes du SFS et des terminaux d'utilisateur HAPS situés dans la même zone rurale de couverture, la distance maximale de séparation tenant compte de l'effet d'écran local soit d'environ 30 km. Cette distance dépend cependant fortement de la géométrie liant les stations terriennes aux terminaux d'utilisateur; elle peut être inférieure à 1 km dans de nombreux cas;
- 6 que, pour l'examen des conditions de réalisation du partage entre des systèmes du service fixe utilisant des HAPS et des systèmes du SFS (cas exposé dans l'Annexe 4), la méthodologie présentée à l'Annexe 1 et les informations contenues dans les Annexes 2 et 3 puissent être utilisées provisoirement (voir les Notes 2 à 5);
- 7 que des études complémentaires puissent identifier des scénarios opérationnels supplémentaires ainsi que des techniques de réduction des brouillages pouvant faciliter le partage de fréquences.

NOTE 1 – Il est admis que des systèmes utilisant des HAPS remplissent potentiellement les conditions d'application de divers services comme les services mobiles et de radiodiffusion. Dans la présente Recommandation, l'application concerne principalement le service fixe dans les bandes 47,2-47,5 et 47,9-48,2 GHz.

NOTE 2 – Les informations contenues dans les Annexes 2 et 3 concernent un système spécifique en cours d'élaboration. Des études approfondies sont nécessaires pour mettre au point des critères de brouillage largement applicables.

NOTE 3 – Les paramètres des liaisons de connexion du service de radiodiffusion par satellite (SRS) mentionnés à l'Annexe 3 sont extraits du Rapport UIT-R BO.2016. Les paramètres des systèmes SFS OSG utilisés sont également cités à l'Annexe 3.

NOTE 4 – Il peut s'avérer nécessaire de déterminer la puissance surfacique maximale admissible vers les satellites OSG du fait du brouillage composite provoqué par des stations au sol d'utilisateurs de réseaux placés sur des plates-formes à haute altitude.

NOTE 5 – On peut améliorer l'évaluation du brouillage cumulé en développant un modèle de simulation qui prenne en compte les distributions géographiques et les caractéristiques d'antenne des stations terrestres des réseaux placés sur des plates-formes à haute altitude.

ANNEXE 1

Méthodologie d'étude du partage de fréquences entre systèmes pour zones fortement peuplées du service fixe utilisant des HAPS et le SFS

1 Introduction

La présente Annexe présente les critères de brouillage et les méthodes de prévision à utiliser pour les analyses de partage entre systèmes pour zones fortement peuplées du service fixe utilisant des HAPS et les systèmes du SFS. Les bandes considérées sont 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz.

Les caractéristiques d'un réseau type utilisant des HAPS pour l'application service fixe dans des zones fortement peuplées sont indiquées dans la Recommandation UIT-R F.1500 et certains paramètres pertinents sont résumés dans l'Annexe 2.

Les paramètres système types des liaisons de connexion OSG SRS et des systèmes OSG SFS sont indiqués à l'Annexe 3.

2 Méthode de calcul

La densité p.i.r.e. dans une largeur de bande de référence de 1 MHz peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$p.i.r.e. = P + G_t - L_{tf} - 10 \log B \quad \text{dB(W/MHz)}$$

où:

P : densité de la puissance de sortie de l'émetteur (dB(W/MHz))

G_t : gain de l'antenne d'émission (dBi)

L_{tf} : affaiblissement de la ligne d'antenne (dB)

B : largeur de bande.

Les éléments à prendre en compte pour l'estimation de l'affaiblissement total sur le trajet sont indiqués dans la Recommandation UIT-R P.1409. Une formule pour l'affaiblissement atmosphérique est également donnée dans la Recommandation UIT-R SF.1395.

La densité de la puissance de réception attendue peut être calculée à l'aide de:

$$P_r = P + G_t - L_{tf} + G_r - L_{rf} - L_a - L_p - 10 \log B - 20 \log (4\pi d/\lambda) - 60 \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

où:

P_r : densité de la puissance de l'onde porteuse attendue (dB(W/MHz))

P : densité de la puissance de sortie de l'émetteur (dB(W/MHz))

G_t : gain de l'antenne d'émission (dBi)

L_{tf} : affaiblissement de la ligne d'antenne (dB)

G_r : gain de l'antenne de réception (dBi)

L_{rf} : affaiblissement de la ligne d'antenne de réception (dB)

L_a : absorption atmosphérique pour un angle d'élévation donné (dB)

L_p : affaiblissement dû à d'autres effets de propagation (dB)

λ : longueur d'onde (m)

d : distance (km).

ANNEXE 2

Caractéristiques système d'un réseau type placé sur une plate-forme à haute altitude

1 Le système placé sur une plate-forme à haute altitude

La description d'un système typique est donnée dans la Recommandation UIT-R F.1500. Le système comprend une plate-forme située à haute altitude en un point nominalement fixe de la stratosphère à une altitude de 21 à 25 km. La communication s'effectue entre la plate-forme et les stations terrestres d'utilisateurs installées dans une organisation cellulaire permettant une réutilisation substantielle des fréquences. Les stations d'utilisateurs sont décrites comme se situant dans l'une des trois zones suivantes: couverture de zone urbaine, suburbaine et rurale (UAC, *urban area coverage*), SAC (*suburban area coverage*) et RAC (*rural area coverage*) respectivement).

1.1 Zones de couverture

Les zones de couverture sont définies en termes d'angle d'élévation entre le sol et la HAPS. Les angles de dépression à la plate-forme sont très similaires. Le Tableau 1 indique les angles et les distance de couverture au sol mesurées à partir du nadir.

TABLEAU 1
Zones de couverture

Zone de couverture	Angles d'élévation (degrés)	Distance au sol (km)	
		Plate-forme à 21 km	Plate-forme à 25 km
UAC	90-30	0-36	0-43
SAC	30-15	36-76,5	43-90,5
RAC	15-5	76,5-203	90,5-234

1.2 Station placée sur la plate-forme

Les caractéristiques typiques d'antenne et d'émetteur pour une station placée sur une plate-forme sont données dans le Tableau 2.

Les communications avec des stations d'utilisateurs utiliseront la modulation MDP-4 multiplexée à répartition dans le temps (MRT) et les communications avec des stations d'entrée utiliseront la modulation de haut niveau, MAQ-64.

TABLEAU 2

Paramètres de l'émetteur de la station placée sur une plate-forme

Communication vers	Puissance de l'émetteur (dBW)	Gain d'antenne (dBi)
UAC	1,3	30
SAC	1,3	30
RAC	3,5	41
Station d'entrée (UAC)	0	35
Station d'entrée (SAC)	9,7	38

1.3 Stations d'utilisateurs et stations d'entrée

Les paramètres correspondants des stations terrestres sont indiqués au Tableau 3. Dans la direction montante, les stations d'utilisateurs vont utiliser un AMRT à ondes porteuses multiples à assignation avec modulation MDP-4, alors que les stations d'entrée utiliseront des techniques similaires à celles de la plate-forme.

TABLEAU 3

Caractéristiques de l'émetteur de la station terrestre

Communication vers	Puissance de l'émetteur (dBW)	Gain d'antenne (dBi)
UAC	-8,2	23
SAC	-7	38
RAC	-1,5	38
Station d'entrée (UAC)	1,7	46
Station d'entrée (SAC)	13,4	46

1.4 Diagrammes de rayonnement d'antenne

Les diagrammes de rayonnement d'antenne pour antennes de plates-formes sont conformes à la Recommandation UIT-R S.672.

ANNEXE 3

Paramètres système du SFS**1 Paramètres système des liaisons de connexion SRS**

Paramètres des liaisons de connexion SRS	
Modulation	MDP-4
Fréquence (GHz)	48,2
Largeur de bande (MHz)	1
Antenne d'émission (station terrienne):	
Puissance (dB(W/MHz))	3
Gain (dBi)	57,7
Affaiblissement de ligne (dB)	2,5
p.i.r.e. (dB(W/MHz))	58,2
Angle d'élévation (degrés)	55
Longueur de trajet (km)	36 780
Affaiblissement en espace libre (dB)	217,4
Absorption atmosphérique (dB)	1,2

2 Paramètres système d'une liaison SFS OSG Terre vers espace

Station terrienne	
Fréquence de la liaison montante (GHz)	47,2-50,2
Gain d'antenne maximal (2,4 m/0,9 m) (dBi)	59,7/51,2
Diagramme de gain d'antenne (dBi)	$29 - 25 \log \theta$ min = -10
Affaiblissement de la ligne de la station terrienne (dB)	2,5
Angle d'élévation minimal (degrés)	20
Densité de puissance maximale (2,4 m/0,9 m) (dB(W/MHz))	-1,8/6,7
Densité maximale de la p.i.r.e. (2,4 m/0,9 m) (dB(W/MHz))	55,4/55,4

Satellite	
Gain d'antenne maximal (dBi)	51,5
G/T du satellite (dB(K ⁻¹))	23,4
Température de bruit du système (K)	650
Taille du faisceau (degrés)	0,3
Nombre de faisceaux	24

ANNEXE 4

Partage de fréquences entre les systèmes HAPS du service fixe et les stations du SFS

1 Les paramètres du système HAPS du service fixe

Les paramètres utilisés dans cette étude sont tirés de la Recommandation UIT-R F.1500 et figurent dans les Tableaux suivants:

TABLEAU 4

Zones de couverture HAPS

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

TABLEAU 5

Paramètres de l'émetteur de la station placée sur une plate-forme

Communication vers	Puissance d'émission (dBW)	Gain d'antenne (dBi)
UAC	1,3	30
SAC	1,3	30
RAC	3,5	41

TABLEAU 6

Paramètres d'émission du terminal d'utilisateur

Communication vers	Puissance d'émission (dBW)	Gain d'antenne (dBi)
UAC	-8,2	23
SAC	-7	38
RAC	-1,5	38

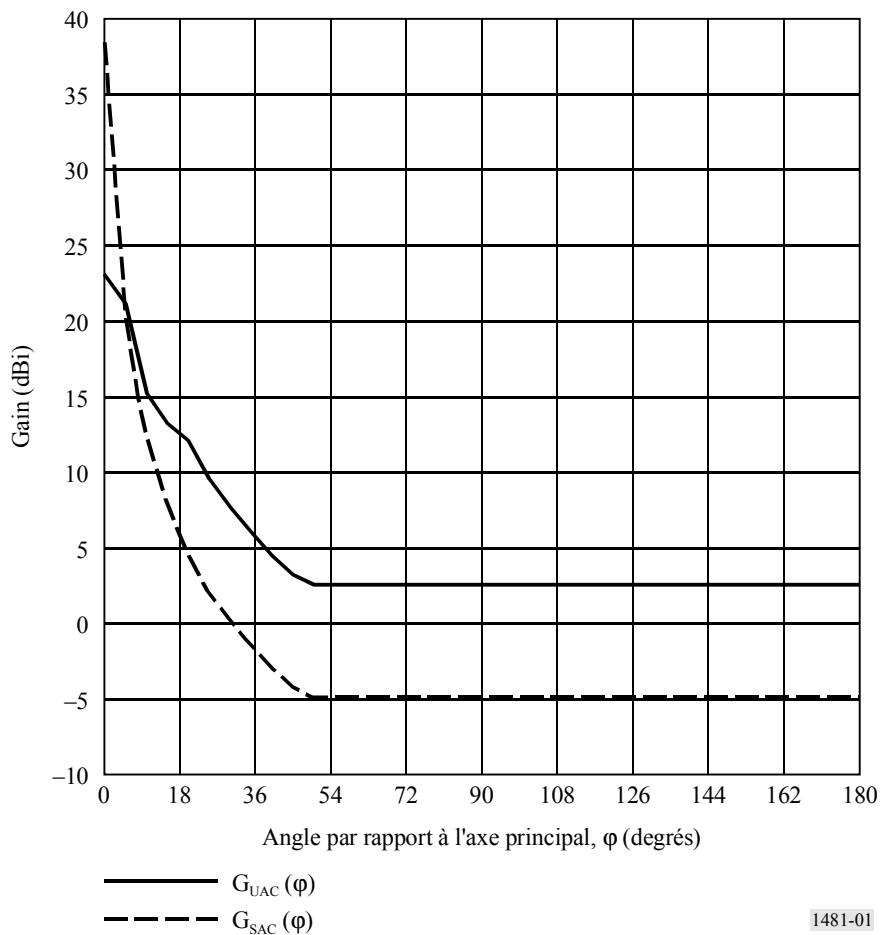
TABLEAU 7

Critères de brouillage pour les systèmes HAPS

	Terminal d'utilisateur	HAPS
Critère de brouillage (dB(W/MHz))	-149	-151,6

FIGURE 1

Enveloppes des diagrammes de rayonnement d'antenne des terminaux d'utilisateurs HAPS,
en application de la Recommandation UIT-R F.699



1481-01

2 Aperçu général des systèmes du SFS

Il existe un certain nombre de systèmes du SFS pouvant être exploités dans la bande des 47 GHz (liaison Terre vers espace). On trouvera dans le Tableau 8 les paramètres relatifs à un système OSG du SFS typique qui constitue la base de l'analyse.

TABLEAU 8

Caractéristiques d'une station terrienne du SFS typique

Station terrienne	
Gain d'antenne maximal (dBi)	57,5
Diamètre d'antenne (m)	1,88
Puissance d'émission maximale avant affaiblissements (dB(W/MHz))	3
Affaiblissements au niveau de la station terrienne (dB)	2,5
p.i.r.e. (dB(W/MHz))	58
Diagramme d'antenne	Appendice 30B du RR
Angle d'élévation (degrés)	55
Satellite	
Gain d'antenne maximal (dBi)	51,8
Critère de brouillage (dB(W/MHz))	-150,5
Diagramme d'antenne	Recommandation UIT-R S.672 ($L_s = -20$)

3 Analyse du brouillage

Les scénarios de brouillage envisagés dans la présente étude sont illustrés sur la Fig. 2. La liste correspondante est établie dans le Tableau 9.

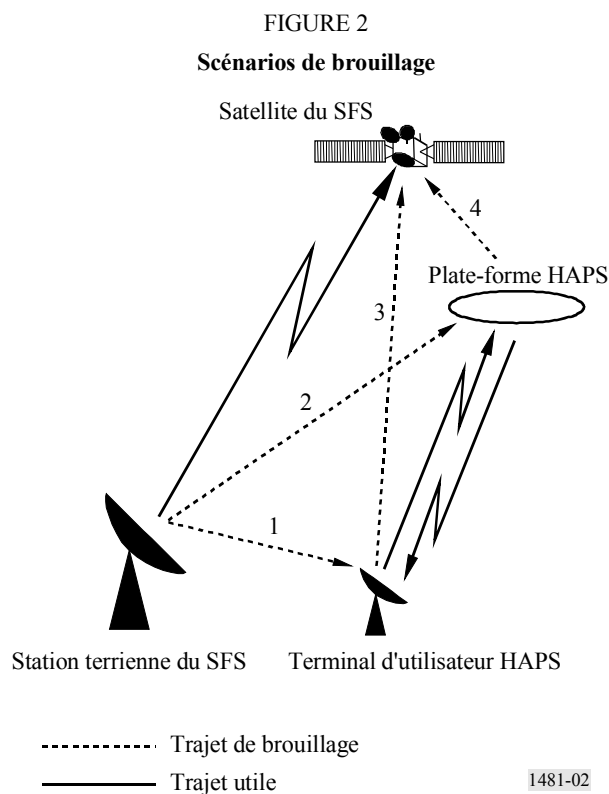


TABLEAU 9

Scénarios de brouillage

Scénario de brouillage	Source brouilleuse	Système brouillé
1	Station terrienne du SFS	Terminal d'utilisateur HAPS
2	Station terrienne du SFS	HAPS
3	Terminal d'utilisateur HAPS	Satellite du SFS
4	HAPS	Satellite du SFS

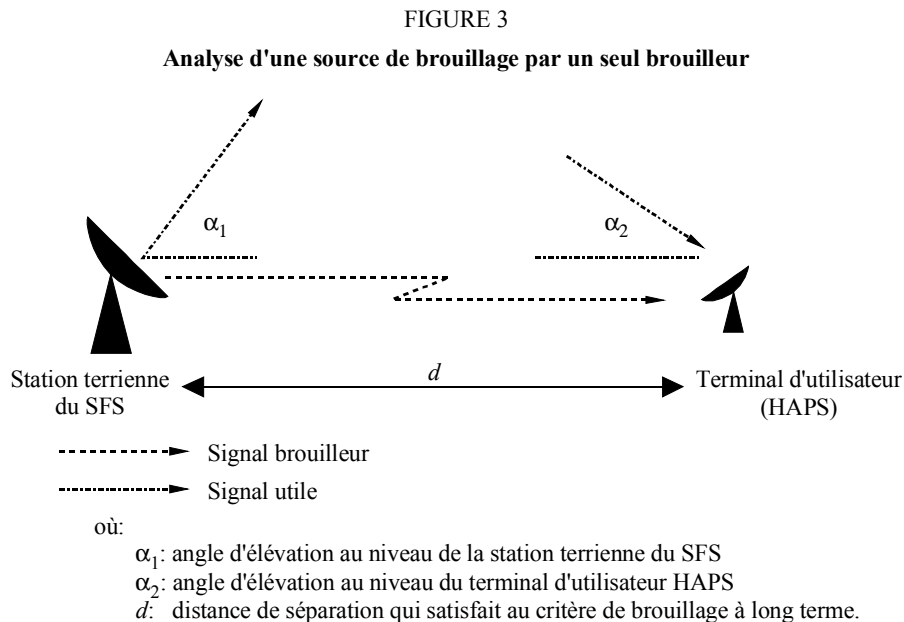
Un autre scénario devrait être envisagé: il s'agit du cas où un signal brouilleur émanant d'une station HAPS atteint un satellite après rétrodiffusion au sol. On trouvera des informations à ce sujet dans la Recommandation UIT-R P.1409. Ce scénario nécessite un complément d'étude.

3.1 Brouillage causé par une station terrienne du SFS à un terminal d'utilisateur HAPS (scénario 1)

Ce paragraphe traite du brouillage causé par une station terrienne du SFS à un terminal d'utilisateur HAPS.

3.1.1 Analyse du brouillage par un seul brouilleur

On se place ici dans le cas d'une propagation en espace libre, avec affaiblissement atmosphérique, sans tenir compte de l'incidence des bâtiments et des irrégularités du terrain.



1481-03

Le Tableau 10 contient des informations détaillées relatives aux distances de séparation calculées avec les paramètres du Tableau 8.

TABLEAU 10

**Distances de séparation requises pour l'analyse
d'une source de brouillage «unique»**

Zone de couverture HAPS	UAC	SAC	RAC
Angle d'élévation au niveau du terminal d'utilisateur HAPS (degrés)	30	15	5
Angle d'élévation au niveau de la station terrienne du SFS (degrés)	55	55	55
Distance de séparation (km)	10,25	7,5	20

3.1.2 Modèle d'obstruction par des bâtiments

En réalité, il n'existe pas toujours un trajet en visibilité directe entre les stations terriennes du SFS et les terminaux d'utilisateur HAPS, en particulier dans les zones urbaines ou suburbaines. On peut ainsi supposer que lorsque le trajet entre une station terrienne du SFS et un terminal d'utilisateur HAPS n'est pas en visibilité directe, l'affaiblissement de trajet est tel que l'on peut négliger le brouillage causé au terminal d'utilisateur HAPS. De tels exemples ont été modélisés dans la Recommandation UIT-R P.1410 – Données de propagation et méthodes de prévision nécessaires pour la conception de systèmes d'accès radioélectrique de Terre à ondes millimétriques et à large bande fonctionnant entre 20 et 50 GHz environ. Dans cette Recommandation on utilise une méthode statistique simple pour prédire la probabilité qu'il existe un trajet en visibilité directe entre le terminal d'utilisateur HAPS et la station terrienne du SFS. Ce modèle utilise les paramètres suivants:

- taux d'occupation moyen des bâtiments dans la zone considérée;
- nombre moyen de bâtiments/km²;
- hauteur moyenne des bâtiments (m).

Cette Recommandation contient également des valeurs typiques pour chacun des trois paramètres énumérés ci-dessus. Il est important de noter que les caractéristiques des bâtiments varient d'une ville à l'autre. Il convient donc d'utiliser, dans la mesure du possible, les paramètres réels des bâtiments lorsqu'on procède à une analyse de brouillage détaillée. Le Tableau 11 contient les paramètres utilisés dans cette analyse.

TABLEAU 11

Paramètres relatifs à la distribution et à la hauteur des bâtiments

Zone de couverture	UAC	SAC	RAC
Taux d'occupation moyen des bâtiments dans la zone considérée	0,25	0,11	0,025
Nombre moyen de bâtiments/km ²	1 500	750	250
Hauteur moyenne des bâtiments (m)	10	7,63	7,63

3.1.3 Analyse de brouillage dans le cas d'un modèle d'obstruction par des bâtiments

Le modèle d'obstruction par des bâtiments tient compte de la répartition desdits bâtiments. On a utilisé ce modèle pour évaluer le brouillage causé par une station terrienne du SFS à un terminal d'utilisateur en respectant la procédure suivante:

- choisir une distance de séparation minimale initiale entre la station terrienne du SFS et un terminal d'utilisateur HAPS;

- établir un million de distributions aléatoires des terminaux d'utilisateur HAPS et évaluer le niveau de brouillage causé par la station terrienne du SFS pour chaque distribution aléatoire des terminaux d'utilisateur;
- augmenter la distance de séparation dès que l'une des distributions aléatoires induit un dépassement du critère de brouillage;
- diminuer la distance de séparation si le niveau de brouillage n'est pas dépassé et répéter la simulation.

Les détails concernant les distances de séparation obtenues sont indiqués dans le Tableau 12.

TABLEAU 12

**Distance de séparation dans le cas de l'analyse d'une source de brouillage «unique»
avec utilisation du modèle d'obstruction par des bâtiments**

Région de couverture	UAC	SAC	RAC
Angle d'élévation au niveau du terminal d'utilisateur (degrés)	30	15	5
Distance de séparation (km)	1,5	1,3	6,25

Le Tableau 12 montre que les distances de séparation requises sont sensiblement réduites lorsqu'on tient compte des obstructions dues aux bâtiments.

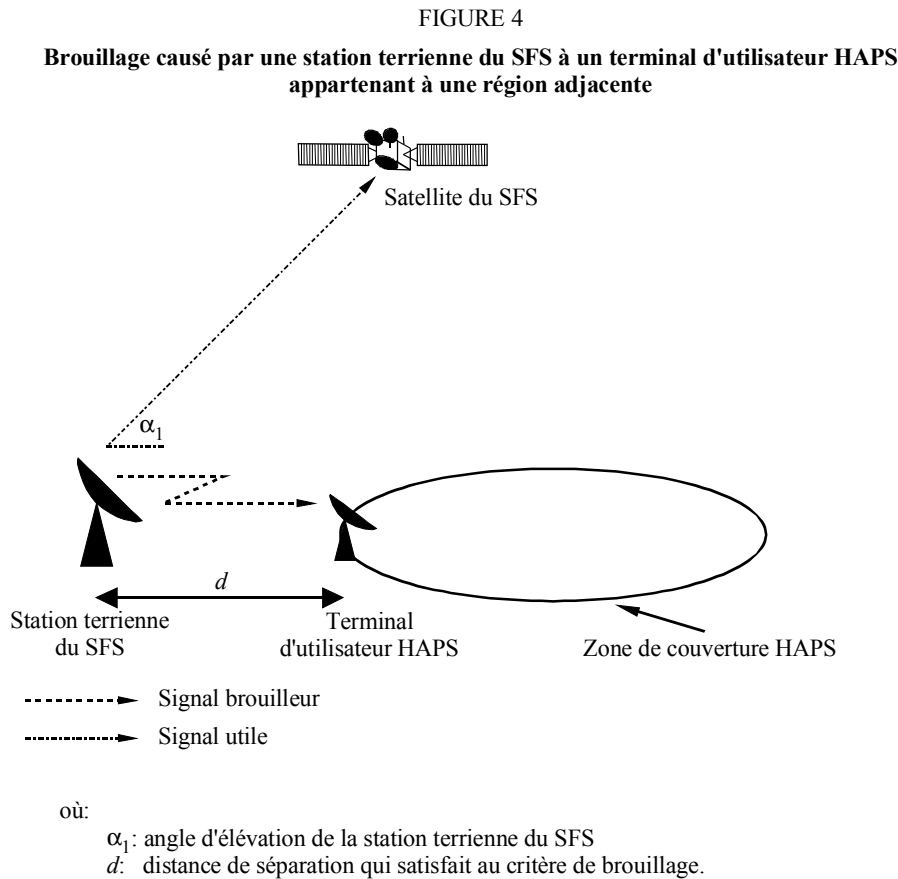
3.1.4 Distance de séparation entre les stations terriennes du SFS et les zones de couverture HAPS

Les résultats du paragraphe précédent montrent une diminution des distances de séparation dues à l'effet d'écran des bâtiments. Cette réduction peut cependant ne pas être suffisante pour faciliter le déploiement des stations terriennes du SFS dans les zones de couverture HAPS, en particulier dans les zones où l'on envisage un service pour de très nombreux terminaux. Dans ces conditions, on pourra uniquement exploiter les stations terriennes du SFS en dehors des zones de couverture HAPS. Le calcul des distances de séparation entre les stations terriennes du SFS et les zones de couverture HAPS est indiqué au Tableau 13.

TABLEAU 13

Distance de séparation entre une station terrienne du SFS et une zone de couverture HAPS

Zone de couverture HAPS	UAC uniquement	UAC et SAC uniquement	UAC, SAC et RAC
Angle d'élévation du terminal d'utilisateur (degrés)	30	15	5
Distance de séparation (km)	6,2	4,2	4,2



1481-04

3.2 Brouillage causé par une station terrienne du SFS à une plate-forme HAPS (scénario 2)

L'analyse conduite dans le présent paragraphe est fondée sur l'hypothèse selon laquelle il serait difficile de déployer des stations terriennes du SFS dans une zone de couverture HAPS, en particulier dans les zones où l'on envisage un service pour de très nombreux terminaux.

3.2.1 Analyse

On considère une station terrienne du SFS située à une distance donnée en dehors de la région de couverture HAPS. La distance de séparation initiale est obtenue grâce au Tableau 13 et l'on détermine ensuite le brouillage causé au niveau de la plate-forme HAPS par la station terrienne du SFS. Les résultats figurent dans le Tableau 14.

TABLEAU 14

Brouillage au niveau d'une plate-forme HAPS causé par une station terrienne du SFS située en dehors de la zone de couverture HAPS

Zone de couverture HAPS	UAC uniquement	UAC et SAC	UAC, SAC et RAC
Angle d'élévation du terminal d'utilisateur (degrés)	30	15	5
Distance de séparation (km)	6,2	4,2	4,2
Niveau de brouillage (dB(W/MHz))	-144,2	-149,37	-152,65

Les résultats du Tableau 14 indiquent que la distance de séparation n'est suffisante que dans le cas d'une couverture HAPS correspondant à un angle d'élévation des terminaux d'utilisateur de 5° (UAC, SAC et RAC). Dans le cas de la couverture UAC et de la couverture UAC et SAC, les distances de séparation conduisent à un dépassement du critère de brouillage. On augmente donc les distances de séparation jusqu'à ce que le critère de brouillage soit satisfait. Les résultats correspondants figurent dans le Tableau 15.

Il est important de noter que l'on donne dans le Tableau 15 les distances de séparation minimales permettant de satisfaire au critère de brouillage de la plate-forme HAPS et des terminaux d'utilisateur, lorsque la station terrienne du SFS est située en dehors de la zone de couverture HAPS.

TABLEAU 15

**Distance de séparation entre une station terrienne du SFS
et une zone de couverture HAPS**

Zone de couverture HAPS	UAC uniquement	UAC et SAC	UAC, SAC et RAC
Angle d'élévation du terminal d'utilisateur (degrés)	30	15	5
Distance de séparation (km)	9,6	15,5	4,2

3.3 Brouillage causé par un terminal d'utilisateur du SFS à un satellite du SFS (scénario 3)

3.3.1 Analyse d'une source de brouillage par un seul brouilleur

On étudie ici le brouillage causé par un terminal d'utilisateur HAPS unique en supposant que son antenne pointe en direction de l'axe de visée d'un satellite du SFS.

Les résultats figurant dans le Tableau 16 indiquent que le couplage des faisceaux principaux entre un terminal HAPS de couverture SAC (ou HAPS de couverture RAC) et une station spatiale du SFS excède le critère de brouillage de la station spatiale du SFS.

TABLEAU 16

**Brouillage causé par un terminal d'utilisateur HAPS à une station spatiale du SFS
dans l'hypothèse d'un couplage des faisceaux principaux**

Zone de couverture	UAC	SAC	RAC
Brouillage (dB(W/MHz))	-155	-140,9	-134
Critère de brouillage (dB(W/MHz))	-150,5		

3.3.2 Analyse du brouillage cumulatif

En réalité, seuls quelques (voire parfois aucun) terminaux d'utilisateur HAPS pointent vers la station spatiale du SFS, en particulier lorsque l'axe de visée du satellite SFS pointe en dehors de la zone de couverture HAPS. Dans le cas d'une analyse du brouillage cumulatif, les zones de couverture HAPS contiennent de nombreux terminaux d'utilisateur: on calcule alors le brouillage subi par la station spatiale du SFS pour un certain nombre de configurations d'essai, chacune d'elle correspondant à une distribution aléatoire des terminaux d'utilisateur HAPS. On suppose que l'axe de visée du satellite SFS pointe en dehors de la zone de couverture HAPS de manière qu'il existe un décalage suffisant entre l'empreinte au sol du satellite SFS et la zone de couverture HAPS.

En outre, il convient de noter qu'une plate-forme HAPS en charge totale pourrait admettre 100 terminaux d'utilisateur fonctionnant dans un même canal dans chacune des 3 zones de couverture.

TABLEAU 17

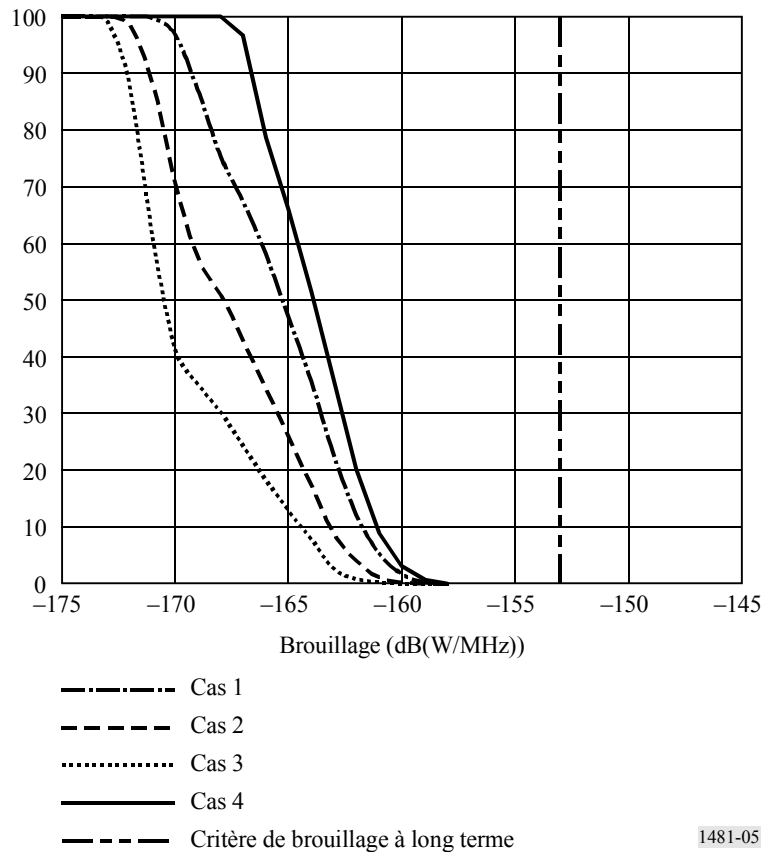
Diverses distributions des terminaux d'utilisateur HAPS actifs utilisés pour l'analyse du brouillage cumulatif

Zone de couverture	RAC	SAC	UAC
Gamme des angles d'élévation	5-15	15-30	30-90
	<i>Nombre de terminaux d'utilisateur</i>		
Cas 1	0	0	100
Cas 2	10	30	60
Cas 3	33	33	34
Cas 4	100	100	100

On trouvera sur la Fig. 5 la fonction de distribution cumulative de brouillage pour 10000 configurations d'essai.

FIGURE 5

Fonction de distribution cumulative de brouillage dans le cas de terminaux d'utilisateur HAPS brouillant un satellite du SFS



La Fig. 5 montre que le niveau de brouillage subi par le satellite du SFS est inférieur dans tous les cas considérés au seuil toléré.

3.4 Brouillage causé par une plate-forme HAPS à un satellite du SFS (scénario 4)

L'analyse conduite dans ce paragraphe est fondée sur l'hypothèse selon laquelle le lobe arrière de la plate-forme HAPS pointe en direction de l'axe de visée du satellite du SFS. Les effets des réflexions et des rétrodiffusions au sol ne sont pas pris en considération.

On calcule ainsi qu'une plate-forme HAPS couvrant une zone RAC cause un brouillage d'environ -167 dB(W/MHz) au niveau d'un satellite du SFS. Le brouillage causé par une plate-forme couvrant une zone SAC ou UAC sera inférieur à -167 dB(W/MHz), en raison d'un gain d'antenne et d'une puissance d'émission plus faibles.

On peut donc conclure que le brouillage causé à un satellite du SFS par une ou plusieurs plates-formes HAPS peut être acceptable, ce qui est conforme aux résultats des études précédentes.

4 Techniques de réduction des brouillages

4.1 Introduction

On étudie ici les techniques de réduction de brouillage susceptibles d'être appliquées pour faciliter le partage de fréquences entre des systèmes HAPS du service fixe et des stations du SFS. Les techniques ci-après sont envisagées:

- amélioration des diagrammes de rayonnement;
- accroissement de l'angle d'élévation minimal des terminaux d'utilisateur HAPS;
- assignation dynamique des canaux;
- examen de l'environnement.

4.2 Amélioration des diagrammes de rayonnement

L'amélioration de la qualité des lobes latéraux des diagrammes de rayonnement d'antenne correspondant aux terminaux d'utilisateur HAPS et aux stations terriennes du SFS peut avoir une incidence sur l'ampleur possible du partage de fréquences. Cela permettrait, par exemple, de diminuer la distance de séparation entre une station terrienne du SFS et un terminal d'utilisateur HAPS, et de réduire en outre le brouillage causé à une plate-forme HAPS par une station terrienne du SFS.

4.3 Accroissement de l'angle d'élévation minimal des terminaux d'utilisateur HAPS

L'accroissement de l'angle d'élévation minimal des terminaux d'utilisateur HAPS permettrait de réduire le gain hors axe de visée en direction de la station terrienne du SFS, ce qui conduirait à réduire le brouillage subi par un terminal d'utilisateur et à diminuer la distance de séparation entre ce terminal et la station terrienne du SFS. L'unique inconvénient résiderait dans la nécessité de disposer de plates-formes supplémentaires pour assurer une couverture complète.

4.4 Assignation dynamique des canaux

Il n'a pu être établi si l'assignation dynamique des canaux aurait une incidence déterminante sur le partage de fréquences entre le système HAPS du service fixe et le SFS, eu égard à la diminution de la capacité système induite par cette assignation dynamique des canaux. Cette question doit faire l'objet d'un complément d'étude.

4.5 Examen de l'environnement

On peut améliorer sensiblement le partage de fréquences en plaçant les terminaux d'utilisateur HAPS là où l'on peut tirer parti de l'effet d'écran induit par les bâtiments, les arbres, etc. Il faut néanmoins reconnaître que l'on ne peut parvenir à de telles améliorations que sur des bases ponctuelles correspondant à certaines situations particulières, et qu'une telle démarche peut difficilement s'inscrire dans le cadre général d'une planification de réseau.

5 Conclusions

La présente Annexe a permis d'examiner dans quelle mesure le partage des fréquences serait possible entre les systèmes HAPS du service fixe et les stations du SFS fonctionnant dans la bande des 47 GHz. Les résultats ont montré qu'une couverture commune serait difficile dans les zones pour lesquelles on envisage un service HAPS pour de très nombreux terminaux, ce qui est conforme aux conclusions des études précédentes.

On a également examiné l'incidence des techniques de réduction des brouillages telles qu'une amélioration des diagrammes de rayonnement d'antenne, un accroissement des angles d'élévation minimaux des terminaux d'utilisateur HAPS, ou une assignation dynamique des canaux. L'impact sur le partage de fréquences risque cependant de ne pas être suffisant pour permettre une exploitation dans une même zone des stations du SFS et des systèmes HAPS du service fixe.

On peut donc conclure, en se fondant sur les hypothèses et les résultats de la présente étude, que le partage de fréquences entre les systèmes HAPS du service fixe et les stations du SFS est possible uniquement si les stations du service fixe par satellite sont exploitées en dehors de la zone de couverture du système HAPS, en particulier dans les zones où l'on envisage un service HAPS pour de très nombreux terminaux. Ces résultats sont récapitulés dans le Tableau 18.

TABLEAU 18

Récapitulatif des résultats

Source de brouillage	Élément brouillé	Commentaires
Station terrienne du SFS	Terminal d'utilisateur HAPS	Le partage de fréquences n'est pas possible dans les zones où l'on envisage un service HAPS pour de très nombreux terminaux
Station terrienne du SFS	Plate-forme HAPS	Commentaire identique au cas précédent, à l'exception du cas de stations terriennes du SFS placées au-delà de la distance donnée de la zone de couverture HAPS (voir le Tableau 15)
Terminal d'utilisateur HAPS	Satellite du SFS	Le brouillage cumulatif causé par des terminaux d'utilisateur HAPS serait acceptable tant qu'il n'y a pas de chevauchement entre les zones de service
Plate-forme HAPS	Satellite du SFS	Ce scénario ne conduit pas à un brouillage inacceptable