

## RECOMMANDATION UIT-R SF.1601-2

**Méthodes d'évaluation des brouillages causés par les liaisons descendantes du service fixe utilisant des stations placées sur plates-formes à haute altitude, aux liaisons montantes du service fixe par satellite géostationnaire dans la bande 27,5-28,35 GHz**

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

(2002-2005-2007)

**Domaine de compétence**

La présente Recommandation donne des méthodes d'évaluation des brouillages causés par les liaisons descendantes du service fixe utilisant des stations placées sur plates-formes à haute altitude (HAPS) aux liaisons montantes du service fixe par satellite (SFS) géostationnaire dans la bande 27,5-28,35 GHz. Elle comporte trois annexes, décrivant des méthodes de calcul des brouillages, de calcul des émissions de p.i.r.e. des stations HAPS et d'évaluation des brouillages sous forme de rapports *C/I*, et des appendices où sont donnés des exemples d'application desdites méthodes.

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 la CMR-97 a adopté des dispositions relatives à l'exploitation des plates-formes HAPS dans le service fixe dans les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz;
- c) que la bande des 47 GHz étant plus sensible à l'affaiblissement dû à la pluie dans les pays dont la liste est donnée dans les numéros 5.537A et 5.543A du Règlement des radiocommunications (RR), la gamme de fréquences 18-32 GHz a fait l'objet d'études au sein de l'UIT-R dans le but d'identifier du spectre supplémentaire;
- d) que l'affaiblissement dû à la pluie dans certains pays étant plus marqué dans la bande des 47 GHz, la CMR-2000 a adopté une disposition visant à permettre l'utilisation, dans certains pays, de stations HAPS dans le service fixe dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31,0-31,3 GHz à condition de ne pas causer de brouillages préjudiciables aux autres types de systèmes 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 (numéros 5.537A et 5.543A du RR);
- e) qu'en vertu de la Résolution 145 (CMR-03), il est demandé à l'UIT-R d'effectuer d'urgence des études sur les questions techniques, de partage et de réglementation afin de définir les critères applicables à l'exploitation des stations HAPS dans les bandes 27,5-28,35 GHz et 31,0-31,3 GHz;
- f) que la bande 27,5-28,35 GHz est attribuée à titre primaire au service fixe par satellite (SFS) dans le sens Terre vers espace;
- g) qu'on a besoin de méthodes pour évaluer les brouillages que les transmissions dans le sens station HAPS-sol, dans la bande 27,5-28,35 GHz, pourraient causer aux récepteurs des satellites du SFS sur l'orbite géostationnaire,

*recommande*

- 1 d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour évaluer le niveau des brouillages causés par les liaisons station HAPS-sol (liaisons descendantes) du service fixe aux liaisons Terre vers espace (liaisons montantes) du SFS par satellites géostationnaires ( OSG) dans la bande 27,5-28,35 GHz;
- 2 aux administrations de considérer l'Annexe 2 comme une méthode permettant d'évaluer la p.i.r.e. des émissions dans le sens station HAPS-sol, dans la bande 27,5-28,35 GHz, qui ferait augmenter le rapport brouillage/bruit ( $I/N$ ) des récepteurs des satellites du SFS sur l'orbite géostationnaire;
- 3 d'utiliser la méthode présentée à l'Annexe 3 pour évaluer le rapport porteuse/brouillage,  $C/I$ , afin de déterminer le niveau des brouillages causés par les émissions dans le sens stations HAPS-sol (liaisons descendantes) du service fixe aux émissions dans le sens Terre-espace (liaisons montantes) du SFS par satellites géostationnaires, OSG, dans la bande de fréquences 27,5-28,35 GHz.

## Annexe 1

### Méthode d'évaluation des brouillages causés par les liaisons descendantes du service fixe utilisant des stations HAPS aux liaisons montantes du SFS avec satellites OSG dans la bande 27,5-28,35 GHz

#### 1 Introduction

La présente annexe décrit une méthode d'évaluation des brouillages causés par le service fixe utilisant des stations HAPS, à un système à satellites OSG du SFS dans la bande 27,5-28,35 GHz. Cette bande est utilisée dans le sens Terre vers espace (liaisons montantes) par le système OSG du SFS.

#### 2 Une méthode de calcul des brouillages

##### 2.1 Brouillage causé par un système HAPS

La Fig. 1 représente le modèle utilisé pour l'analyse et qui a été choisi comme hypothèse pour le calcul des brouillages causés par un système HAPS à un satellite OSG. Le niveau de puissance de brouillage dans une largeur de bande 1 MHz,  $I(g,h,b,r)$ , causé par un faisceau ponctuel de la station HAPS, reçu par le satellite OSG ( $g$ ) est donné par l'équation (1):

$$I(g, h, b, r) = P^H(b) - F_{loss} + G^H_{tx}(\varphi(g, h, b)) - FSL(g, h) + G^S_{rx}(\varphi(h, g, r)) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

dans laquelle:

$P^H(b)$ : puissance d'émission dans une bande de 1 MHz (dB(W/MHz)) appliquée aux bornes de l'antenne de la station HAPS correspondant au faisceau ( $b$ )

$F_{Loss}$ : affaiblissement d'alimentation (dB)

- $\varphi(g, h, b)$ : angle de discrimination (degrés) mesuré au niveau de la station HAPS ( $h$ ) entre l'axe de pointage d'un faisceau ponctuel HAPS ( $b$ ) et le satellite OSG ( $g$ )
- $G_{tx}^H(\varphi(g, h, b))$ : gain de l'antenne d'émission (dBi) de la station HAPS ( $h$ ) pour l'angle hors axe  $\varphi(g, h, b)$
- $FSL(g, h)$ : affaiblissement en espace libre (dB) entre le satellite OSG ( $g$ ) et la station HAPS ( $h$ )
- $\theta(h, g, r)$ : angle de discrimination (degrés) vu depuis le satellite OSG ( $g$ ) entre la direction de pointage d'un point de référence ( $r$ ) du SFS OSG et une station HAPS ( $h$ ) (voir la Fig. 2)
- $G_{rx}^S(\theta(h, g, r))$ : gain de l'antenne de réception (dBi) du satellite OSG ( $g$ ) pour l'angle hors axe  $\theta(h, g, r)$ .

FIGURE 1  
**Modèle utilisé pour l'évaluation des brouillages causés par une station HAPS à un satellite OSG**

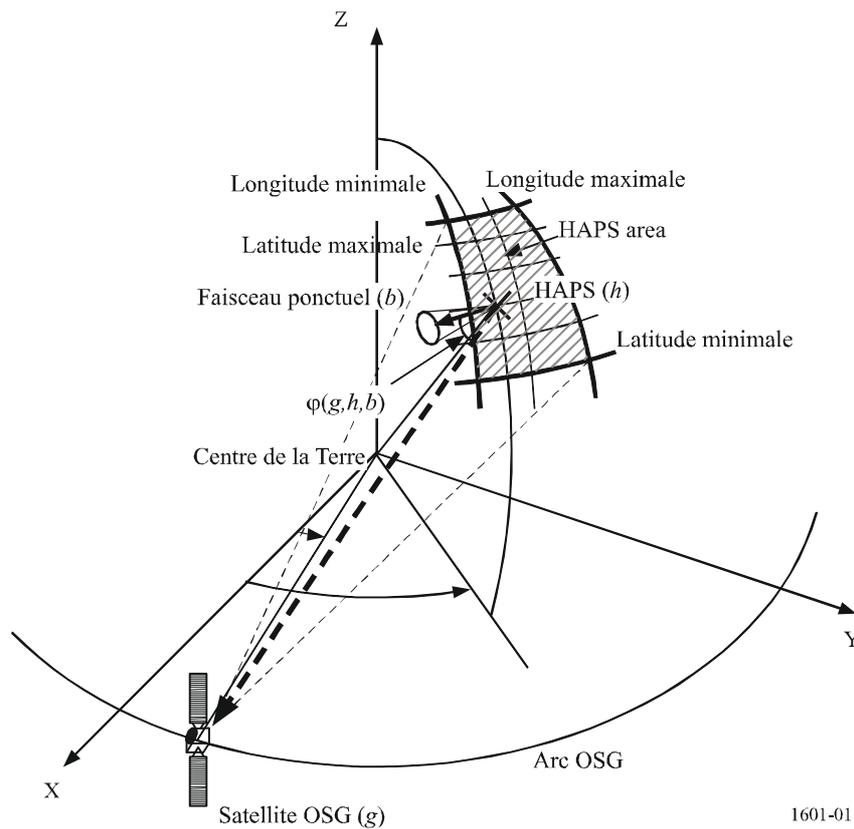
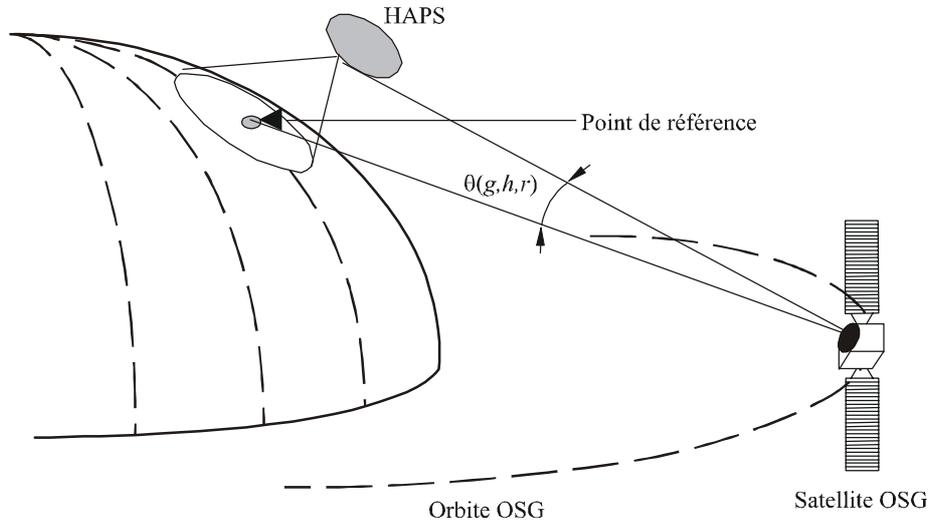


FIGURE 2  
Modèle géométrique du point de référence associé à un satellite OSG



1601-02

Pour pouvoir calculer l'angle de discrimination au niveau d'un satellite OSG, il faut choisir un point de référence qui est un point spécifique situé à la surface de la Terre. On suppose alors que l'axe de visée de l'antenne à faisceau ponctuel du satellite OSG est toujours orienté vers ce point de référence, quelle que soit la position de l'engin spatial sur l'orbite. Si ce point n'est pas visible depuis le satellite OSG, on en choisit un autre tel que l'angle d'élévation en direction du satellite OSG soit le plus petit possible. La Fig. 2 représente le modèle géométrique associé à l'exemple et qui inclut le point de référence.

Considérant un scénario opérationnel HAPS dans lequel chaque faisceau ponctuel du système HAPS est un faisceau multiplexé, on suppose que ces porteuses sur la liaison descendante peuvent se trouver à l'intérieur de la largeur bande totale du récepteur du satellite OSG.  $I_{single}$  désigne le brouillage cumulé causé par le système HAPS et est calculé comme étant la somme de tous les brouillages  $I(g,h,b,r)$  causés par l'ensemble des faisceaux ponctuels possibles du système HAPS susceptibles d'utiliser la même fréquence. La valeur de  $I_{single}$  est donnée par l'équation (2).

$$I_{single} = 10 \log \left( \sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (2)$$

où  $b_n$  désigne le nombre de faisceaux ponctuels susceptibles d'utiliser la même fréquence et  $h_n$  le nombre de stations HAPS constituant le système HAPS.

Après avoir évalué le niveau des brouillages reçus par le SFS, le rapport  $I/N$  peut être calculé comme suit:

$$I/N_{single} = I_{single} - N = I_{single} - 10 \log(k T_{sat}) - 60 \quad (3)$$

où:

- $I/N_{single}$ : rapport brouillage/bruit thermique (dB)
- $N$ : puissance de bruit thermique du récepteur du satellite dans une bande de 1 MHz (dB(W/MHz))
- $k$ : la constante de Boltzmann (W/(K · Hz))
- $T_{sat}$ : température de bruit système du satellite OSG du SFS (K).

Le niveau de brouillage cumulatif calculé est alors comparé à un seuil de brouillage applicable afin de déterminer si le système HAPS cause des brouillages préjudiciables au SFS.

## 2.2 Brouillage causé par plusieurs systèmes HAPS

Il peut se trouver que plusieurs systèmes HAPS opérationnels causent des brouillages à un satellite OSG. Le brouillage cumulatif causé par plusieurs systèmes HAPS est représenté par  $I_{multiple}$  et est calculé à partir de la somme totale de chaque niveau de brouillage causé par chaque système HAPS au satellite OSG comme le montre l'équation (4).

$$I_{multiple} = 10 \log \left( \sum_{s=1}^{s_n} \sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (4)$$

dans laquelle  $s_n$  est le nombre de systèmes HAPS. Les autres termes sont identiques à ceux définis ci-dessus pour un brouillage causé par un seul système HAPS.

Pour une évaluation exacte d'une situation où il y a plusieurs systèmes HAPS, les caractéristiques de chaque système HAPS doivent être utilisées pour les calculs. Si l'on ne dispose pas de ces informations, on peut obtenir une indication approximative du brouillage résultant en utilisant les caractéristiques d'un système HAPS de référence.

Après avoir calculé le brouillage  $I_{multiple}$ , on peut le substituer à  $I_{single}$  dans l'équation (3) afin de déterminer l'effet des brouillages sur le système du SFS.

## 2.3 Commande de puissance sur la liaison descendante

Le brouillage causé par les liaisons descendantes HAPS à un système OSG du SFS est maximal lorsque la puissance d'émission sur la liaison descendante du système HAPS est maximale ou dans des conditions de pluie. Lorsqu'on utilise une commande de puissance sur la liaison descendante du système HAPS, la puissance d'émission cumulative de la liaison descendante HAPS peut être diminuée dans des conditions de ciel clair. Par conséquent, le brouillage causé à l'engin spatial du SFS est réduit par ciel clair.

## 2.4 Paramètres d'entrée

Pour les études de brouillage utilisant la méthode présentée dans cette Annexe, il conviendra d'utiliser les caractéristiques du systèmes du SFS et des systèmes HAPS lorsque celles-ci sont disponibles. Dans le cas contraire, il conviendra d'utiliser les valeurs suivantes:

### 2.4.1 Caractéristiques du système HAPS

Voir la Recommandation UIT-R F.1569.

### 2.4.2 Caractéristiques d'entrée du système SFS

- $T_{sat}$ : 500 K
- Ouverture de faisceau d'antenne (petites stations): 0,3°

- Ouverture de faisceau d'antenne (stations centrales): 2°
- Gain d'antenne: selon la Recommandation UIT-R S.672, Annexe 1, ( $L_s = -20$  dB)<sup>1</sup>.

## Appendice 1 à l'Annexe 1

### Exemple d'application de la méthode de l'Annexe 1

#### 1 Modèle de brouillage

On part de l'hypothèse qu'un système HAPS composé d'un certain nombre de plates-formes HAPS est exploité dans une zone rectangulaire, comme indiqué à la Fig. 3. Une plate-forme située au centre de cette zone constitue le point de référence dans cet exemple et toutes les autres plates-formes sont déployées dans le plan qui est perpendiculaire à la droite reliant le point de référence et son nadir sur la Terre. Lorsque le point de référence est situé à l'origine du système de coordonnées x-y dans ce plan, on suppose que les plates-formes HAPS sont placées en chaque point de la grille dans la zone qui a les coordonnées  $(L_x, L_y)$ ,  $(L_x - L_y)$ ,  $(-L_x, L_y)$  et  $(-L_x, -L_y)$ . Si l'on suppose également que le nombre de plates-formes HAPS comptées sur l'axe des x et l'axe des y est respectivement  $n_x$  et  $n_y$ , le nombre total de plates-formes,  $n_t$ , considéré est égal à  $n_x \times n_y$  ( $n_x$  et  $n_y$  sont des nombres impairs). Dans le modèle de déploiement considéré, la distance de séparation entre stations HAPS voisines est  $d_x$  ou  $d_y$ , selon qu'elle est mesurée sur l'axe des x ou sur l'axe des y. Les valeurs de  $d_x$  et  $d_y$  sont respectivement  $2L_x/(N_x - 1)$  et  $2L_y/(N_y - 1)$ .

On suppose également que le satellite OSG brouillé est positionné dans la direction de l'axe x supposé et que l'antenne du satellite pointe toujours en direction du point de référence. L'angle  $\alpha$  dans la Fig. 4 est défini comme étant l'angle d'élévation du satellite au point de référence mesuré depuis le plan x-y.

Le brouillage cumulatif causé par les  $n_T$  stations HAPS est évalué et correspond au rapport brouillage/puissance de bruit du satellite,  $I/N$ , du satellite OSG en fonction de l'angle d'élévation,  $\alpha$ , pour différentes combinaisons de déploiement de stations HAPS et de caractéristiques de satellites types.

---

<sup>1</sup> La Recommandation UIT-R S.672 définit les objectifs de conception pour les antennes d'engin spatial. La spécification d'objectifs pour les faisceaux conformés n'est pas possible pour les cas types étant donné que l'on ne connaît pas la zone de service du SFS. Une caractéristique de décroissance spécifique ( $L_s = -10$  dB) pourra être utilisée pour caractériser le cas des faisceaux conformés dans l'attente de gabarits spécifiques de diagramme d'antenne destinés au calcul des brouillages.

FIGURE 3  
Modèle d'évaluation des brouillages

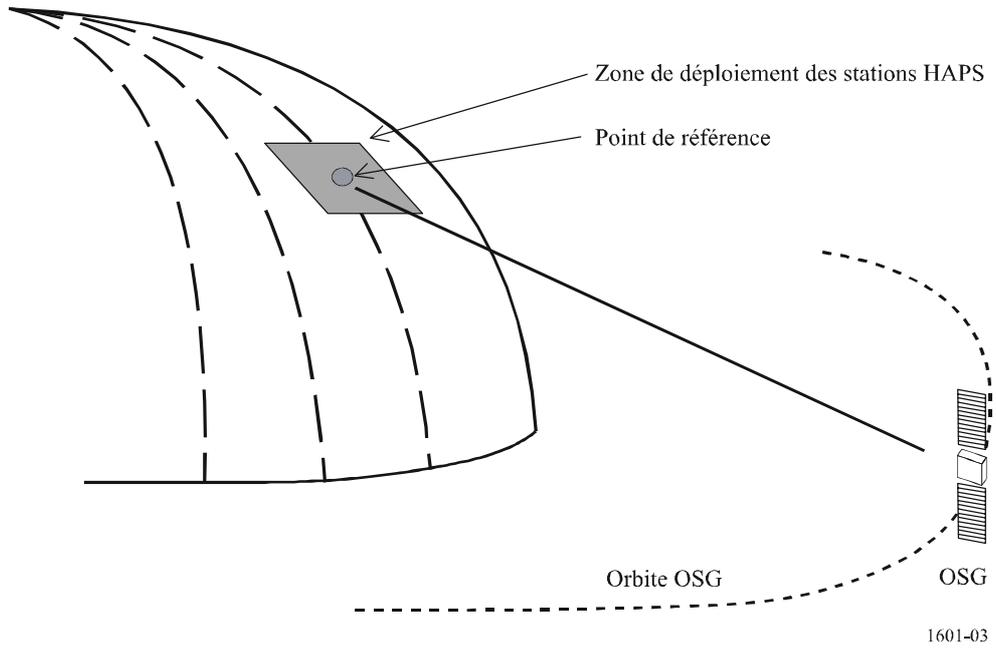
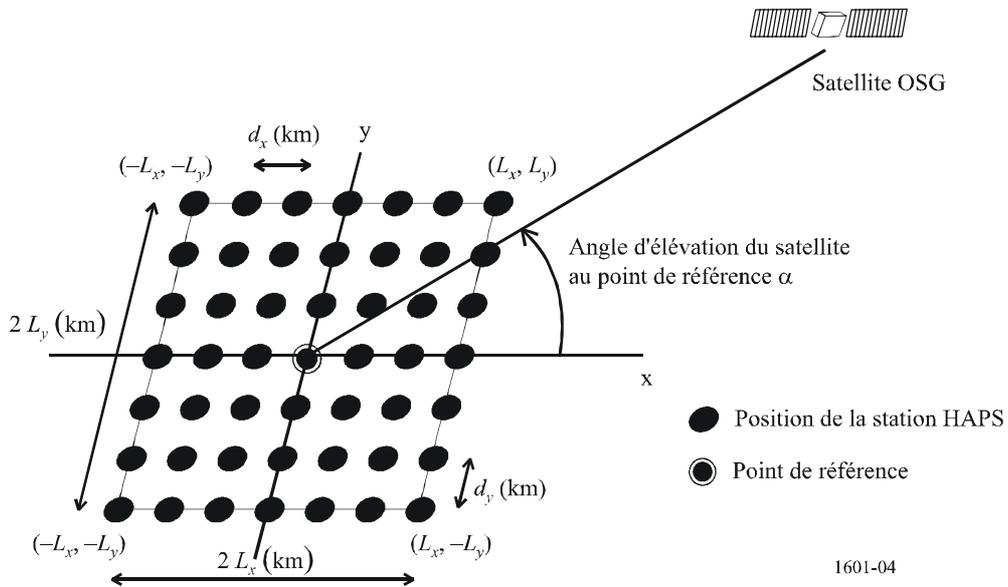


FIGURE 4  
Modèle de déploiement de stations HAPS



## 2 Caractéristiques des stations HAPS

Les paramètres types d'un système HAPS fonctionnant dans la bande des 28 GHz sont donnés dans la Recommandation UIT-R F.1569. Le Tableau 1 indique les paramètres utilisés pour les calculs.

TABLEAU 1  
Caractéristiques du système HAPS

Paramètres	HAPS-1	HAPS-2
Altitude de la station HAPS (au point de référence) (km)	20	20
p.i.r.e. cumulative d'une station HAPS sur le côté et vers l'arrière <sup>(1)</sup>	-5 dBW dans une largeur de bande de 20 MHz	-5 dBW dans une largeur de bande de 20 MHz
Longueur de la zone de déploiement des stations HAPS ( $2L_x$ ) (km)	1 000	600
Largeur de la zone de déploiement des stations HAPS ( $2L_y$ ) (km)	1 000	600
Nombre de stations HAPS, sur l'axe des $x$ ( $n_x$ )	11	9
Nombre de stations HAPS, sur l'axe des $y$ ( $n_y$ )	11	9
Nombre total de stations HAPS ( $n_T$ )	121	81
Distance entre stations HAPS sur l'axe des $x$ ( $d_x$ ) (km)	100	75
Distance entre stations HAPS sur l'axe des $y$ ( $d_y$ ) (km)	100	75

<sup>(1)</sup> Modèle concret avec les 397 faisceaux ponctuels indiqués dans une figure de la Recommandation UIT-R F.1569.

## 3 Caractéristiques du satellite OSG

Les paramètres du satellite OSG sont donnés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2  
Caractéristiques du satellite OSG

Paramètres	OSG-1	OSG-2
Température de bruit du système (K)	500	500
Ouverture du faisceau à mi-puissance (degrés)	0,3	2
Niveau des lobes latéraux de l'antenne ( $L_s$ dans la Recommandation UIT-R S.672, Annexe 1) (dB)	-20	-20
Gain <sup>(1)</sup> de crête de l'antenne (dBi)	55,0	38,5

<sup>(1)</sup> Calculé en utilisant l'équation de  $G_{max}(dBi) = 44,5 - 20 \log \theta$  ( $\theta$  est l'ouverture de faisceau (degrés) à -3 dB).

#### 4 Résultats des calculs

Les Fig. 5 et 6 indiquent la valeur calculée du rapport  $I/N$  pour le satellite OSG.

Il ressort clairement de la méthode que le rapport  $I/N$  du satellite OSG dépend largement du gain de crête de l'antenne de ce satellite lorsque l'antenne pointe en direction d'une source de brouillage. Le brouillage que subit une antenne caractérisée par une petite ouverture de faisceau ( $0,3^\circ$ ) est plus important lorsque les angles d'élévation du point de référence sont petits car le nombre de stations HAPS situées dans le lobe principal est limité pour de grands angles d'élévation et augmente pour de petits angles d'élévation. Par ailleurs, lorsque l'ouverture de faisceau est plus grande ( $2^\circ$ ), l'antenne subit moins de brouillage car le gain est plus faible et le niveau de brouillage est relativement constant étant donné que la quasi-totalité de la zone de déploiement des stations HAPS est située à l'intérieur du faisceau principal, même pour de grands angles d'élévation. Le niveau de brouillage dépend essentiellement de la distance de propagation du signal brouilleur. Dans les cas considérés, les résultats font apparaître que le rapport  $I/N$  du satellite OSG est inférieur à  $-20$  dB (1%) pour les deux satellites OSG pris pour exemple dans des conditions d'exploitation habituelles où les stations terriennes sont supposées avoir des angles d'élévation de  $20^\circ$  ou plus par rapport au satellite.

FIGURE 5

Modèle HAPS-1 (121 stations HAPS dans un intervalle de 100 km)

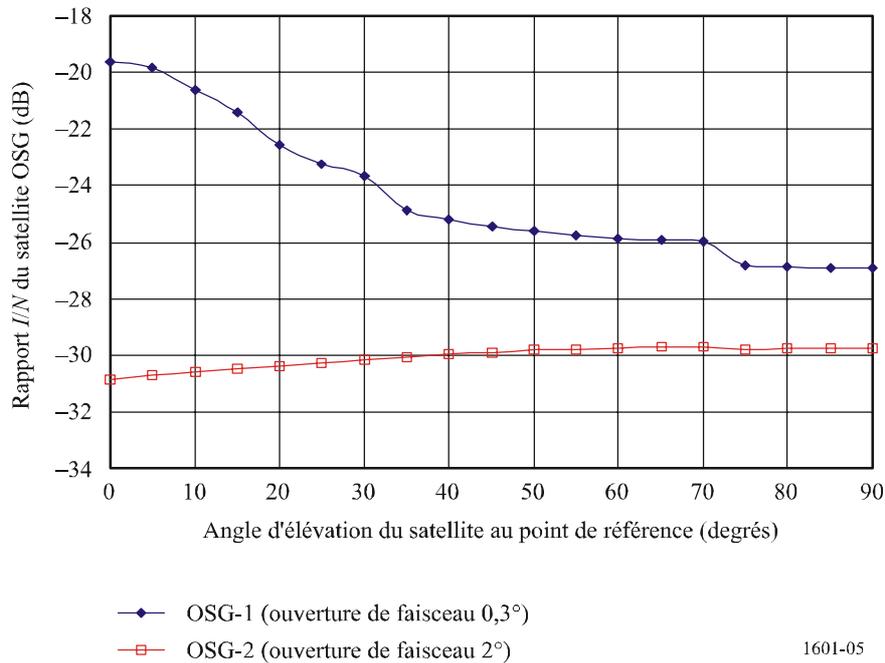
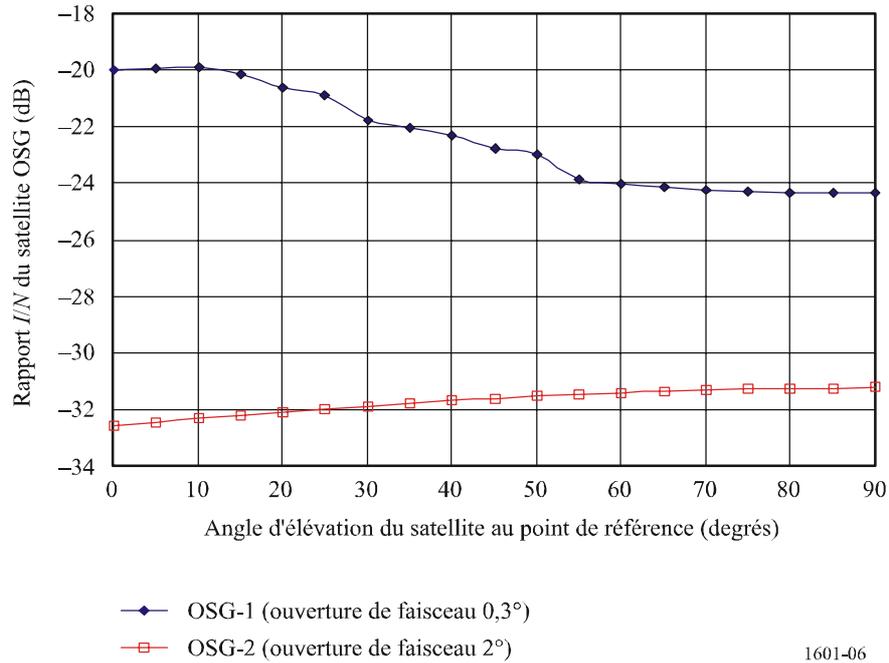


FIGURE 6

Modèle HAPS-2 (81 stations HAPS dans un intervalle de 75 km)



## Annexe 2

### Méthode de calcul des émissions de p.i.r.e. de stations HAPS dans le sens station HAPS-sol, dans la bande 27,5-28,35 GHz, susceptibles de faire augmenter le rapport I/N des récepteurs de satellites OSG du SFS

#### 1 Introduction

Dans la méthode considérée, le brouillage est mesuré sous forme du rapport  $I/N$  du système de réception du SFS. Les caractéristiques de brouillage déterminantes du système de réception du SFS sont le gain d'antenne et la température de bruit de ce système.

Cette méthode peut être utilisée pour évaluer la densité de p.i.r.e. des émissions de stations HAPS dans le sens station HAPS-sol susceptible de faire augmenter d'une quantité donnée le rapport  $I/N$  des systèmes de réception du SFS sur orbite géostationnaire.

#### 2 Description de la méthode

La première étape consiste à calculer l'augmentation donnée du rapport  $I/N$  en déterminant la puissance de bruit du système de réception considéré. Densité de puissance de bruit dans une largeur de bande de 1 MHz.

$$N = k T B \quad (5)$$

où:

- $k$ : constante de Boltzmann (W/(K · Hz))
- $T$ : température de bruit du système de réception du SFS (K)
- $B$ : largeur de bande de référence (1 MHz).

Ensuite, le rapport  $I/N$  supposé est utilisé pour déterminer la puissance brouilleuse (dB(W/MHz)).

$$I = N + I/N \quad (6)$$

Enfin, on calcule la puissance surfacique, PFD, qui produirait le brouillage supposé au niveau de l'OSG.

$$\text{PFD} = I - G_R + 20 \log(f) + 21,45 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (7)$$

où:

- $G_R$ : gain équivalent (dBi), de l'antenne de réception du SFS dans la direction des plates-formes HAPS brouilleuses
- $f$ : fréquence d'émission (GHz).

La p.i.r.e. totale de toutes les émissions des stations HAPS qui produirait cette puissance surfacique au niveau de l'OSG est

$$(\text{p.i.r.e.})_{\text{totale}} = \text{PFD} + 10 \log(4\pi d^2) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (8)$$

où  $d$  est la distance (m) entre la plate-forme HAPS et le satellite SFS.

En principe,

$$(\text{p.i.r.e.})_{\text{totale}} = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{-0.1(\text{p.i.r.e.})_j} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (9)$$

où:

- $(\text{p.i.r.e.})_j$ : p.i.r.e. de la  $j$ -ième plate-forme HAPS, et
- $n$ : nombre de plates-formes HAPS brouilleuses.

Si, dans un souci de simplicité, on suppose que

$$(\text{p.i.r.e.})_{\text{moyenne}} = (\text{p.i.r.e.})_{\text{totale}} - 10 \log(n) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (10)$$

il est possible de calculer une valeur approximative de la p.i.r.e. moyenne rayonnée par chaque plate-forme HAPS.

### 3 Niveaux de brouillage produit par des systèmes HAPS types

On peut déterminer le brouillage que pourraient causer des systèmes HAPS à des satellites du SFS sur orbite géostationnaire en comparant la p.i.r.e. dans les lobes latéraux et les lobes arrière des antennes d'émission des stations HAPS et les valeurs de p.i.r.e. ainsi calculées.

## Appendice 1 à l'Annexe 2

### Exemple d'application de la méthode de l'Annexe 2

#### 1 Introduction

Les deux systèmes du SFS décrits au § 2.4.2 ci-dessus de l'Annexe 1 sont pris en compte dans ces exemples de calcul. L'antenne de l'un des systèmes qui reçoit les signaux de grandes stations pivots est caractérisée par une ouverture de faisceau de  $2^\circ$  et un gain de 39 dBi. On suppose que l'antenne de l'autre système qui, lui, reçoit les signaux des petites stations d'utilisateur déployés en très grand nombre a une ouverture de faisceau de  $0,30^\circ$  et un gain de 55,4 dBi. On prend pour hypothèse, pour les deux systèmes, une température de bruit de 500 K, valeur représentative des récepteurs sensibles qui ont été retenus pour la mise en œuvre.

Dans l'exemple considéré, on suppose un déploiement dense de systèmes HAPS. Lorsque l'ouverture de faisceau de l'antenne du satellite OSG du SFS est de  $2^\circ$ , on suppose que le système recevra des signaux brouilleurs d'un nombre de stations HAPS pouvant aller jusqu'à 100. Certains de ces signaux seront reçus lorsque le gain dans le faisceau principal sera maximal ou proche du maximum et d'autres signaux seront reçus lorsque le gain est moins élevé. Dans l'exemple considéré, on suppose également que les signaux provenant des 100 stations HAPS seront reçus chacun lorsque le gain d'antenne moyen de la station du SFS sera de 1 dB inférieur à la valeur maximale, c'est-à-dire égal à 38 dBi.

De même, lorsque l'antenne du satellite OSG du SFS a une ouverture de faisceau de  $0,30^\circ$  – et dans ce cas le nombre de stations HAPS visibles sera beaucoup moins grand qu'avec une ouverture de faisceau de  $2^\circ$  – on suppose que le satellite recevra les signaux brouilleurs de trois stations HAPS et que les niveaux de gain seront différents sur le diagramme d'antenne. Dans l'exemple considéré, on suppose que les signaux provenant des trois stations HAPS seront chacun reçus lorsque le gain d'antenne moyen de la station du SFS sera de 1 dB inférieur à la valeur maximale c'est-à-dire égal à 54,4 dBi.

La distance entre l'OSG et la station HAPS la plus proche est prise comme étant égale à l'altitude de l'OSG et la hauteur de 20 km des stations HAPS ( $35\,788 - 20 = 35\,768$  km).

#### 2 Brouillage causé aux faisceaux d'une station pivot du SFS caractérisée par une ouverture de $2^\circ$

Ouverture de faisceau à mi-puissance:  $2,0^\circ$

Valeur crête du gain de l'antenne du satellite: 39,0 dBi

Gain moyen de l'antenne de réception pour toutes les plates-formes HAPS brouilleuses:  
 $39,0 - 1 = 38,0$  dBi

Nombre supposé de stations HAPS brouilleuses visibles dans le cas d'une ouverture de faisceau de  $2^\circ$ : 100

Température de bruit du système de réception: 500 K

Largeur de bande de référence: 1 MHz

La puissance de bruit du système de réception est donc:

$$N = kTB = -228,6 + 10 \log(500) + 10 \log(10^6) = -141,61 \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (11)$$

Si l'on suppose pour ce calcul que la puissance brouilleuse est égale à 1% de la puissance de bruit, le rapport  $I/N$  sera  $10 \log (0,01) = -20$  dB. Par conséquent,

$$I = N + I/N = -141,61 - 20 = -161,61 \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (12)$$

La puissance surfacique qui produira la puissance brouilleuse au niveau de l'orbite est:

$$\text{PFD} = (-161,61 - 38 + 29 + 21,45) = -149,2 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (13)$$

Alors, la (p.i.r.e.)<sub>totale</sub> =  $-149,2 + 162,1 = 12,92$  dB(W/MHz).

Si la puissance brouilleuse cumulative était ventilée entre les 100 stations HAPS, on obtiendrait pour chaque station  $12,92 - 10 (\log 100) = 12,92 - 20 = -7,08$  dB(W/MHz).

### 3 Brouillage causé aux faisceaux d'un petit terminal d'utilisateur du SFS caractérisé par une ouverture de faisceau de 0,3°

Ouverture de faisceau à mi-puissance: 0,3°

Valeur crête du gain de l'antenne du satellite: 55,4 dBi

Gain moyen de l'antenne de réception pour toutes les stations HAPS brouilleuses:  $55,4 - 1 = 54,4$  dBi

Nombre supposé de stations HAPS brouilleuses visibles dans le cas d'une ouverture de faisceau de 0,3°: 3

Température de bruit du système de réception: 500 K

Largeur de bande de référence: 1 MHz

Par conséquent, comme ci-dessus, la puissance de bruit du système de réception,  $N$ , est égale à  $-141,61$  dB(W/MHz), et la puissance brouilleuse maximale,  $I$ , est égale à  $-161,61$  dB(W/MHz).

La puissance surfacique produisant cette puissance brouilleuse sera:

$$\text{PFD} = (-161,61 - 54,4 + 29 + 21,45) = -165,6 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (14)$$

Alors, la (p.i.r.e.)<sub>totale</sub> =  $-165,6 + 162,1 = -3,5$  dB(W/MHz)

Si la puissance brouilleuse cumulative était ventilée entre les 3 stations HAPS, on obtiendrait pour chaque station  $-3,5 - 10 (\log 3) = -3,5 - 4,77 = -8,27$  dB(W/MHz).

### 4 Niveaux de brouillage produit par des systèmes HAPS types

On peut calculer le brouillage maximal produit par les lobes latéraux et les lobes arrière des systèmes HAPS émettant sur des liaisons descendantes à 28 GHz à partir des paramètres des systèmes HAPS donnés dans la Recommandation UIT-R F.1569.

Pour un émetteur placé sur une plate-forme HAPS destiné à desservir les stations d'utilisateur ayant des angles d'élévation de 26° ou plus, dans des conditions de pluie, la puissance en sortie serait de 1,8 dBW, dans une largeur de bande de 150 MHz, avec un affaiblissement sur les liaisons de connexion de 0,5 dB et un gain d'antenne de 16,4 dBi. La p.i.r.e. maximale résultante serait de 17,7 dBW dans une largeur de bande de 150 MHz, ou de  $17,7 - 10 \log 150 = (17,7 - 21,7) = -4$  dB(W/MHz).

Toutefois, le gain de l'antenne dans la direction des lobes latéraux lointains et des lobes arrière sera d'au moins 10 dB inférieur à la valeur du gain isotrope. Par conséquent, la p.i.r.e. d'une station HAPS en direction de l'OSG est égale à  $(-4 - 16,4 - 10) = -30,4$  dB(W/MHz).

Pour les exemples donnés aux § 2 et 3 ci-dessus, la p.i.r.e. en direction de l'OSG est bien inférieure aux niveaux, produits par les émissions pour les stations dans le sens station HAPS-sol, de  $-7,08$  dB (W/MHz) ou de  $-8,27$  dB(W/MHz), qui se traduiraient par un rapport  $I/N$  de moins de 1% pour des satellites du SFS caractérisés par des ouvertures de faisceau de  $2,0^\circ$  ou de  $0,3^\circ$ .

### Annexe 3

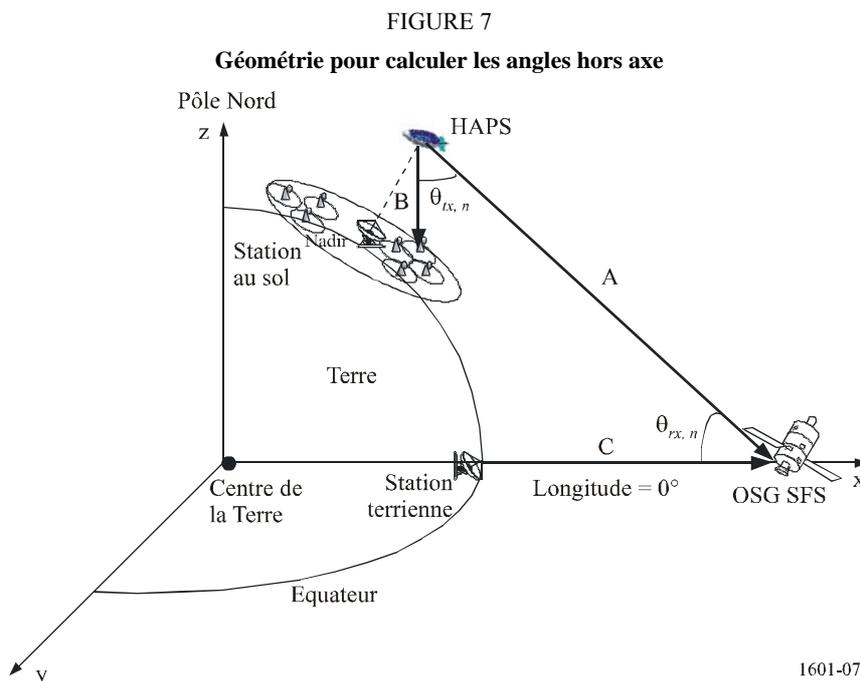
## Méthode d'évaluation du rapport $C/I$ pour déterminer les brouillages causés par les émissions dans le sens stations HAPS-sol (liaisons descendantes) du SF utilisant des plates-formes à haute altitude aux émissions dans le sens Terre-espace (liaisons montantes) du SFS par satellites OSG dans la bande 27,5-28,35 GHz

### 1 Introduction

Pendant la phase de planification d'un réseau à satellite il peut être utile de calculer les rapports porteuse/brouillage,  $C/I$ , entre réseaux brouilleurs et réseaux brouillés afin de déterminer les niveaux de brouillage. Les rapports  $C/I$  peuvent en effet servir à déterminer les niveaux de brouillage contribuant à une dégradation de la qualité de fonctionnement, mais peuvent aussi être utilisés pour toutes les méthodes de modulation. La présente annexe décrit une méthode basée sur une évaluation des rapports  $C/I$  pour évaluer le niveau des brouillages causés par les liaisons descendantes du service fixe utilisant des HAPS aux liaisons montantes du SFS par satellites OSG dans la bande 27,5-28,35 GHz.

### 2 Méthode d'évaluation du rapport $C/I$

La Fig. 7 illustre le modèle d'analyse retenu pour l'évaluation du rapport  $C/I$  à un satellite OSG brouillé par des émissions provenant d'une HAPS.



## 2.1 Calcul du rapport C/I

Considérant la puissance de la porteuse d'une émission dans le sens Terre-espace (liaison montante) du SFS utilisant le satellite OSG  $C$  et la puissance de brouillage totale,  $I_{total}$ , causé par plusieurs plates-formes HAPS au satellite à l'intérieur de la largeur de bande brouillée, on peut calculer le rapport  $C/I$  à l'aide de l'équation suivante:

$$\left[ \frac{C}{I} \right] = EIRP_{up} - FSL_{E/S-Sat} + G_{Sat} - I_{total} \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

où:

$EIRP_{up}$ : puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de la porteuse de la station terrienne à l'intérieur de la largeur de bande brouillée (dBW)

$FSL_{E/S-Sat}$ : affaiblissement sur le trajet en espace libre entre la station terrienne et le satellite OSG (dB)

$G_{Sat}$ : gain maximum de l'antenne réceptrice du satellite OSG (dBi).

La puissance de brouillage totale,  $I_{total}$ , causé par plusieurs plates-formes HAPS au SFS utilisant des satellites OSG à l'intérieur de la largeur de bande brouillée se calcule suivant l'équation suivante:

$$I_{total} = 10 \log \left[ \sum_{h=1}^{n_h} 10^{(I_h)/10} \right] \quad (\text{dBW}) \quad (16)$$

où  $n_h$  est le nombre de plates-formes HAPS, et  $I_h$  est la puissance de brouillage causé par une plate-forme HAPS au SFS utilisant un satellite OSG.

Etant donné que la plate-forme HAPS est équipée d'une antenne à faisceaux étroits multiples, la puissance de brouillage  $I_h$  se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$I_h = 10 \log \left[ \sum_{n=1}^{n_b} 10^{\{P_{HAPS,n} - L_{feeder} + G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n}) + G_{Sat}(\theta_{rx,n}) - FSL_{HAPS-Sat}\}/10} \right] \quad (\text{dBW}) \quad (17)$$

où:

$n_b$ : nombre de faisceaux étroits sur une plate-forme HAPS

$P_{HAPS,n}$ :  $n$ ième puissance d'émission de la plate-forme HAPS (dBW)

$L_{feeder}$ : affaiblissement sur la ligne d'alimentation de la plate-forme HAPS (dB)

$G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n})$ :  $n$ ième gain de l'antenne émettrice de la plate-forme HAPS pour un angle hors axe  $\theta_{tx,n}$  (dBi)

$G_{Sat}(\theta_{rx,n})$ : gain de l'antenne réceptrice du satellite OSG pour un angle hors axe  $\theta_{rx,n}$  (dBi)

$FSL_{HAPS-Sat}$ : affaiblissement sur le trajet en espace libre entre la plate-forme HAPS et le satellite OSG (dB).

## 2.2 Calcul de l'angle hors axe

Pour obtenir le niveau de puissance visé à l'équation (17), il faut calculer les angles hors axe  $\theta_{tx,n}$  et  $\theta_{rx,n}$ . Pour en faciliter le calcul, on transforme les coordonnées polaires de tous les faisceaux étroits de la plate-forme HAPS ainsi que du satellite du SFS en coordonnées rectangulaires dans le plan de l'Equateur, avec pour origine le centre de la Terre.

**A** étant le vecteur entre la plate-forme HAPS et le satellite OSG du SFS, et **B** le vecteur entre le centre du  $n$ ème faisceau étroit de la plate-forme HAPS et sa station au sol, l'angle hors axe  $\theta_{tx,n}$  entre **A** et **B** (mesuré au niveau de la plate-forme HAPS) est égal à:

$$\theta_{tx,n} = \cos^{-1} \left( \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| |\mathbf{B}|} \right) \quad \text{degrés} \quad (18)$$

comme il est illustré dans la Fig. 7.  $|\mathbf{A}|$  et  $|\mathbf{B}|$  sont les valeurs de **A** et **B**, et  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$  est le produit interne de deux vecteurs. Par exemple, pour **A** et **B** exprimés en coordonnées rectangulaires:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \quad (19)$$

De même, l'angle  $\theta_{rx,n}$  peut être calculé à l'aide de l'équation (18), en remplaçant **A** et **B** par  $-\mathbf{A}$  et  $-\mathbf{C}$ .  $-\mathbf{A}$  est le vecteur entre un satellite OSG du SFS et la plate-forme HAPS, **C** étant le vecteur entre la station terrienne au centre de la zone couverte par la station HAPS et un satellite OSG du SFS.

## Appendice 1 à l'Annexe 3

### Exemple d'application de la méthode décrite à l'Annexe 3

#### 1 Paramètres des systèmes HAPS

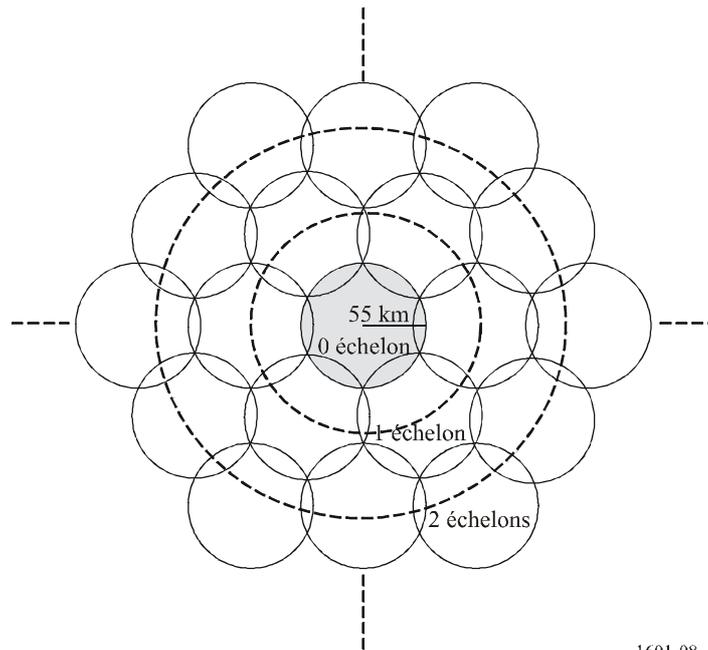
Le Tableau 3 énumère les paramètres des systèmes à plates-formes HAPS qui ont été utilisés dans l'exemple pour calculer le rapport  $C/I$ .

TABLEAU 3  
Paramètres HAPS

Altitude de la station HAPS	20 km
Zone de service couverte (rayon)	55 km
Puissance en sortie par faisceau	de -15,2 dBW à -14,5 dBW
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R F.1569
Affaiblissement sur l'alimentation	0,5 dB
Nombre total de faisceaux à chaque antenne HAPS	367

Dans cet exemple, comme indiqué à la Fig. 8, il est possible de mettre en œuvre un certain nombre de plates-formes pour couvrir une vaste zone au sol, chacune étant par ailleurs équipée sur sa face inférieure d'une antenne à faisceaux étroits multiples: le nombre total de faisceaux pour chaque antenne et de plates-formes, nécessaire pour calculer les brouillages selon la méthode décrite dans la présente annexe, est respectivement de 367 et 127.

FIGURE 8  
Méthode de positionnement des plates-formes HAPS



1601-08

## 2 Paramètres des systèmes à satellites OSG

Les paramètres des systèmes à satellites OSG, comme indique le Tableau 4 utilisés dans l'exemple de calcul du rapport  $C/I$ , se fondent sur la Recommandation UIT-R S.1328.

TABLEAU 4  
Paramètres des systèmes à satellites OSG

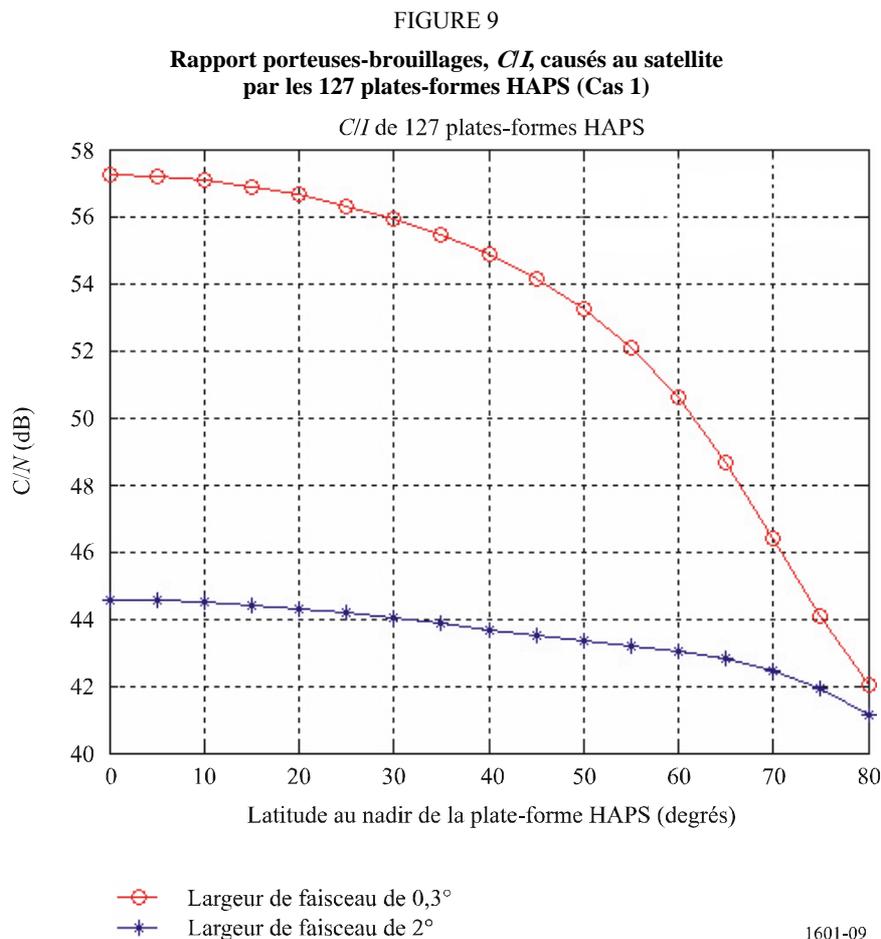
Altitude du satellite OSG	35 768 km
Gain maximum de l'antenne réceptrice du satellite	55 dBi pour 0,3° de largeur de faisceau d'antenne 38,5 dBi pour 2° de largeur de faisceau d'antenne
Diagramme d'antenne	Rec. UIT-R S.672 ( $L_s$ : -20 dB, hypothèse)
p.i.r.e. de la liaison montante	66,1 dBW

### 3 Résultats du calcul

#### 3.1 Cas 1

Dans le Cas 1, on suppose que le satellite brouillé se situe à l'Equateur à la longitude de  $0^\circ$ , et que le faisceau du satellite est toujours dirigé vers la station terrienne qui se situe toujours au centre de la zone de couverture HAPS. On suppose que le système HAPS se compose de 127 plates-formes équipées de l'antenne à 367 faisceaux, et qu'une plate-forme couvre une zone de service de 55 km de rayon.

Il ressort de la Fig. 9 que le système HAPS se déplaçant en direction du pôle Nord, le rapport  $C/I$  du satellite OSG décroît.



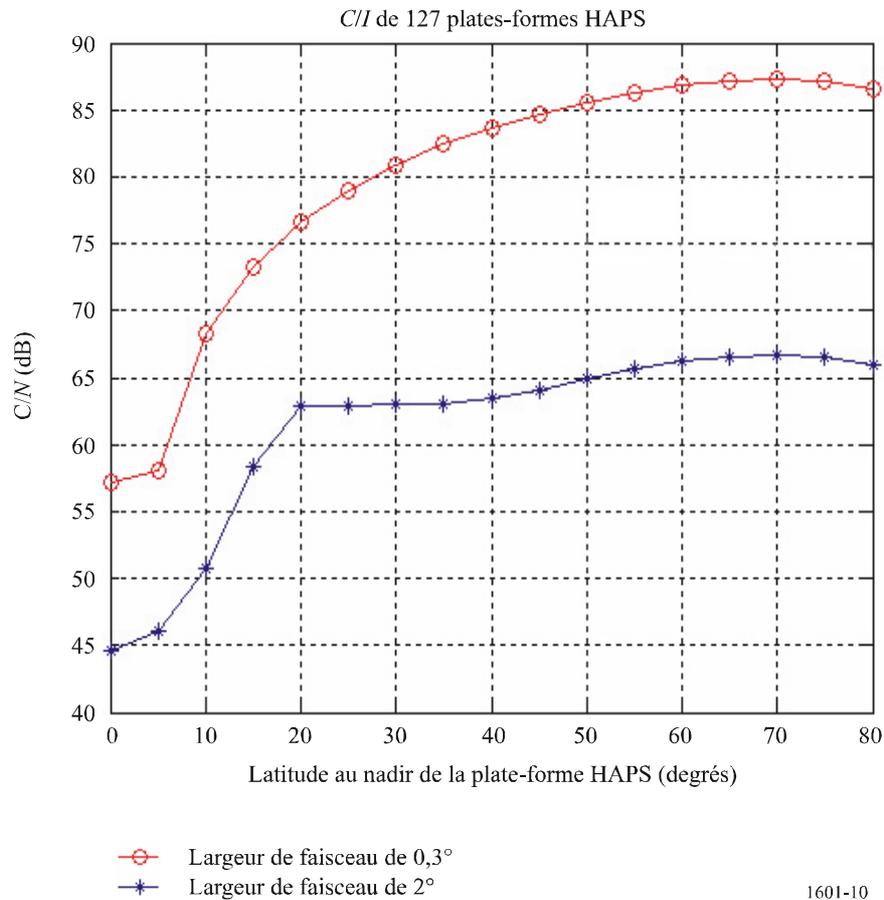
#### 3.2 Cas 2

Dans le Cas N° 2, on suppose que le satellite brouillé se situe à l'Equateur à la longitude de  $0^\circ$ , mais que le faisceau du satellite est dirigé vers la station terrienne à la longitude de  $0^\circ$  et à la latitude de  $0^\circ$ , c'est-à-dire que la station terrienne est située en un point fixe sur l'Equateur.

La Fig. 10 montre, en termes de latitude, le rapport porteuses-brouillages qui sont causés au satellite OSG par le système HAPS se composant de 127 plates-formes. Il ressort de la Fig. 10 que le système HAPS se dirigeant en direction du pôle Nord, le rapport  $C/I$  du satellite OSG augmente par rapport aux résultats du Cas 1.

FIGURE 10

Rapport porteuses-brouillages,  $C/I$ , causés au satellite OSG  
par les 127 plates-formes HAPS (Cas 2)



#### 4 Résumé

Le présent appendice donne un exemple du calcul du rapport  $C/I$  (porteuse/brouillage) qui doit servir à évaluer les brouillages causés à un satellite OSG par des plates-formes HAPS.

Dans le cas d'une station terrienne située à l'aplomb du nadir du système HAPS (Cas 1), la valeur  $C/I$  décroît en fonction de la latitude (par exemple, plus l'angle d'élévation du satellite est faible). Par contre, dans le cas d'une station terrienne située en un point fixe à l'Equateur, le rapport  $C/I$  augmente en fonction de l'élévation de la latitude.

La méthode d'évaluation du rapport  $C/I$  devrait être appliquée pour estimer les brouillages causés par les liaisons descendantes du SF utilisant des plates-formes HAPS aux liaisons montantes d'un satellite OSG du SFS dans la bande 27,5-28,35 GHz, une fois les niveaux de brouillage contribuant à une dégradation de la qualité de fonctionnement déterminés en tenant compte de toutes les méthodes de modulation et de tous les types de signaux.