

## RECOMMANDATION UIT-R SA.1279\*

**PARTAGE DU SPECTRE ENTRE DÉTECTEURS PASSIFS SPATIOPORTÉS ET LIAISONS INTERSATELLITES DANS LA PLAGE DE FRÉQUENCES 50,2-59,3 GHz**

(Question UIT-R 216/7)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que les prévisions météorologiques revêtent une importance croissante, en tant qu'outil essentiel à toute activité économique et qu'elles jouent également un rôle majeur dans l'identification précoce et l'alerte avancée de phénomènes pouvant être dangereux;
- b) que la température atmosphérique est une information essentielle nécessaire aux prévisions météorologiques à l'échelle mondiale;
- c) que la bande d'absorption de l'oxygène comporte plusieurs raies d'absorption entre 50 et 65 GHz, et de ce fait cette bande est une ressource naturelle unique pour la mesure des profils de température atmosphérique, aucune autre bande de fréquences n'offrant une telle possibilité;
- d) qu'en toute saison, les profils de température atmosphérique ne peuvent être obtenus à l'échelle mondiale avec une précision suffisante que par des mesures passives hyperfréquences tridimensionnelles à partir de plates-formes spatiales en orbite terrestre basse (LEO) exploitées dans la seule bande de fréquences d'absorption de l'oxygène atmosphérique située autour de 60 GHz;
- e) que ces mesures passives sont très sensibles au brouillage car, en raison de la variabilité naturelle de l'atmosphère, il est impossible de reconnaître et d'éliminer par filtrage les mesures faussées par les brouillages;
- f) que les mesures ainsi faussées effectuées au moyen de détecteurs passifs peuvent avoir de lourdes répercussions sur les études climatiques et sur la qualité des prévisions météorologiques;
- g) qu'il est prévu d'utiliser un très grand nombre de liaisons intersatellites (LIS) au voisinage de 60 GHz dans des réseaux à satellites non géostationnaires (non GSO) devant assurer des services fixe et mobile par satellite et actuellement en cours de mise au point;
- h) qu'il est prévu d'utiliser des LIS au voisinage de 60 GHz dans des réseaux à satellites géostationnaires (GSO) devant assurer des services fixe et mobile par satellite et actuellement en cours de mise au point;
- j) que la bande de fréquences 54,25-58,2 GHz est utilisée en partage à titre coprimaire par le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive), par le service de recherche spatiale (passive) et par le service intersatellites (SIS);
- k) que le § 1.9.4.3 de la Résolution 718 (CMR-95) (Ordre du jour de la Conférence mondiale des radiocommunications de 1997) doit examiner des «attributions de fréquences existantes au voisinage de 60 GHz et, si nécessaire, leur réattribution afin de protéger les systèmes du service d'exploration de la Terre par satellite (passive) fonctionnant dans la seule gamme de fréquences d'absorption de l'oxygène, située environ entre 50 GHz et 70 GHz»;
- l) que la Recommandation UIT-R SA.1029 contient les critères de protection contre le brouillage applicables aux détecteurs passifs fonctionnant dans les bandes au voisinage de 60 GHz;
- m) que des études relatives à la bande 54,25-58,2 GHz ont montré que les LIS d'un réseau non OSG peuvent causer aux détecteurs passifs des brouillages qui dépassent largement ces critères de protection (voir l'Annexe 1);
- n) que des études relatives à la bande 54,25-58,2 GHz ont montré que les LIS des réseaux OSG peuvent utiliser la bande en partage avec les détecteurs passifs moyennant certaines restrictions concernant la puissance surfacique produite par les satellites OSG à l'altitude orbitale des détecteurs (voir l'Annexe 2),

*reconnaissant*

- a) qu'il est nécessaire de protéger les systèmes SIS existants et prévus dans la bande 56,9-57 GHz,

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 4 des radiocommunications.

*recommande*

- 1 compte tenu des § c) et m) du *considérant*, d'exploiter les détecteurs passifs et les LIS des réseaux non OSG dans des bandes distinctes de la plage de fréquences 50,2-59,3 GHz;
- 2 compte tenu du § n) du *considérant*, de faire en sorte qu'en cas de partage de bandes dans la plage 50,2-59,3 GHz entre les détecteurs passifs et les LIS des réseaux OSG, la puissance surfacique produite aux altitudes égales ou inférieures à 1 000 km au-dessus de la surface de la Terre par les signaux émis par une station spatiale du SIS ne dépasse pas  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ .

## ANNEXE 1

### Résultats de l'étude du brouillage causé par des satellites non OSG

#### 1 Introduction

Dans le cadre du SETS, des détecteurs passifs spatioportés mesurent la température de diverses couches atmosphériques dans plusieurs bandes de fréquences situées dans les bandes d'absorption de l'oxygène au voisinage de 60 GHz. Suivant la fréquence, les mesures effectuées dans la bande à 60 GHz peuvent être fortement protégées du brouillage causé par les émissions de Terre. Les bandes de fréquences voisines de 60 GHz sont également intéressantes pour les LIS d'un système de communication à satellites non OSG. Malheureusement, ces LIS sont susceptibles de brouiller les mesures effectuées par les détecteurs passifs spatioportés, ces brouillages n'étant pas affaiblis par absorption de l'oxygène. Le Tableau 1 donne les caractéristiques orbitales des satellites non OSG et des satellites transportant des détecteurs et le Tableau 2 les caractéristiques d'émission des satellites non OSG et de réception des détecteurs placés à bord de satellites, caractéristiques qui ont été utilisées dans la présente étude. Toutes les antennes ont été modélisées à l'aide de la Recommandation UIT-R S.672, avec un gain minimal de  $-10 \text{ dBi}$ .

TABLEAU 1

Caractéristiques des orbites des satellites non OSG et des satellites transportant des détecteurs

Paramètre orbital	Satellite non OSG	Détecteur
Altitude (km)	700	833
Inclinaison (degrés)	98,16	98,7
Période (min)	98,8	101,5
Excentricité	0,0	0,0
Nombre de plans orbitaux	21	2
Nombre de satellites par plan	40	1
Nœuds ascendants	Espacés de $9,5^\circ$ à partir de $0^\circ$	Non applicable

TABLEAU 2

Caractéristiques d'émission des satellites non OSG et de réception des détecteurs placés à bord de satellites

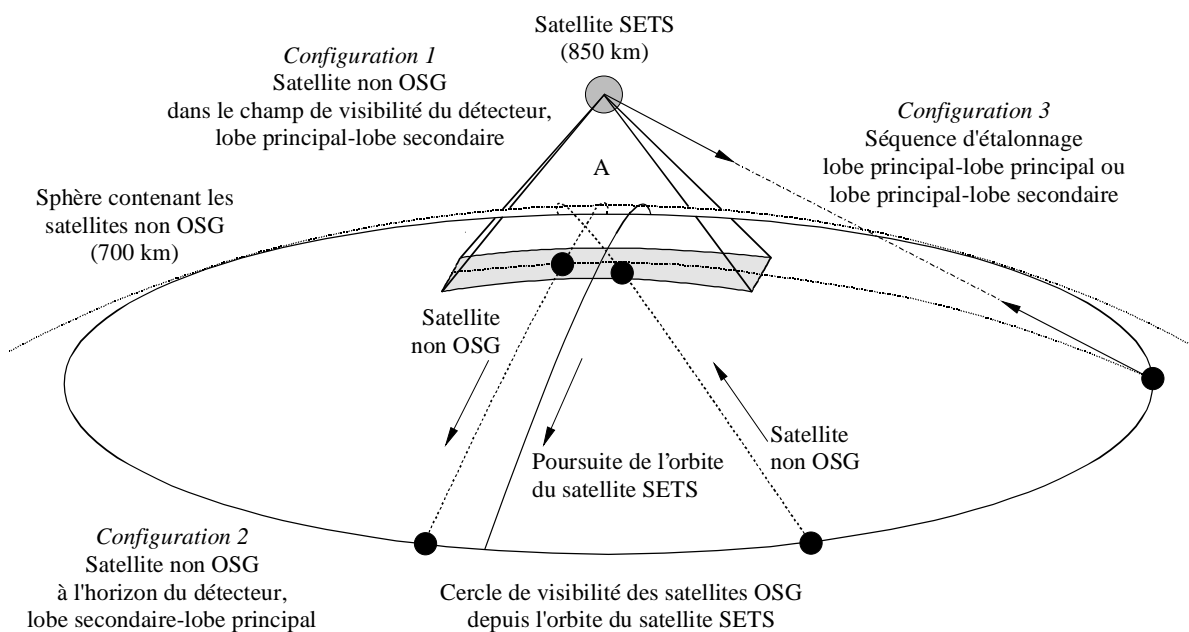
Paramètre	Satellite non OSG	Détecteur sondeur hyperfréquences perfectionné	Détecteur en peigne
Fréquences des porteuses (GHz)	56 et 59	56	56
Largeur de bande par canal (MHz)	1 000	400	100
Puissance dans chaque bande (dBW)	7,4	Non applicable	Non applicable
Gain d'antenne maximal (dBi)	48	36	45

## 2 Brouillage causé par les satellites non OSG

Pour déterminer si le brouillage causé par un seul satellite non OSG peut dépasser le seuil de brouillage du détecteur, trois géométries fixes, illustrées sur la Fig. 1, sont prises en considération.

- Configuration 1:* Les lobes secondaires de l'antenne d'un (ou de plusieurs) émetteur(s) intersatellite(s) brouilleur(s) peuvent se trouver dans les lobes principaux de l'antenne du détecteur.
- Configuration 2:* Le lobe principal de l'antenne d'un (ou de plusieurs) émetteur(s) intersatellite(s) brouilleur(s) peut se trouver dans les lobes secondaires de l'antenne du détecteur.
- Configuration 3:* Pendant la «phase d'étalonnage en espace froid», des brouillages lobe principal-lobe secondaire et lobe principal-lobe principal sont possibles, de même que diverses combinaisons intermédiaires.

FIGURE 1  
Configuration de visibilité mutuelle entre satellite SETS  
et satellite non OSG



A: champ de visibilité ( $\pm 50^\circ$  par rapport au nadir)

1279-01

Le Tableau 3 donne les résultats de l'évaluation statique pour les trois configurations dans le cas d'un détecteur en peigne. L'importance des positions relatives des nœuds ascendants situés sur l'orbite du satellite SETS et sur les orbites des satellites non OSG brouilleurs est illustrée par la très grande variation de la durée de brouillage et des intervalles entre les événements de brouillage. Les durées et les intervalles les plus courts correspondent au cas où les nœuds ascendants des deux systèmes sont distants d'environ  $180^\circ$ . La Recommandation UIT-R SA.1029 indique un seuil de brouillage de  $-166$  dB(W/100 MHz) pour un détecteur en peigne. C'est ce niveau de brouillage qui est utilisé dans le Tableau 3.

## 3 Statistiques de brouillage

Une simulation informatique a permis de modéliser l'interaction dynamique d'une constellation de satellites non OSG et du détecteur spatioporté afin de déterminer la fréquence de dépassement du seuil de brouillage du détecteur ainsi que la valeur du dépassement. Dans la simulation, on a considéré un détecteur sondeur hyperfréquences perfectionné (SHP) et non un détecteur en peigne car le partage de spectre a moins de chance d'être possible avec un détecteur en peigne qu'avec un détecteur SHP.

On suppose que toutes les LIS non OSG émettent des signaux de façon continue et que le détecteur fait des mesures de façon continue. Les résultats de l'analyse dynamique sont présentés sur la Fig. 2.

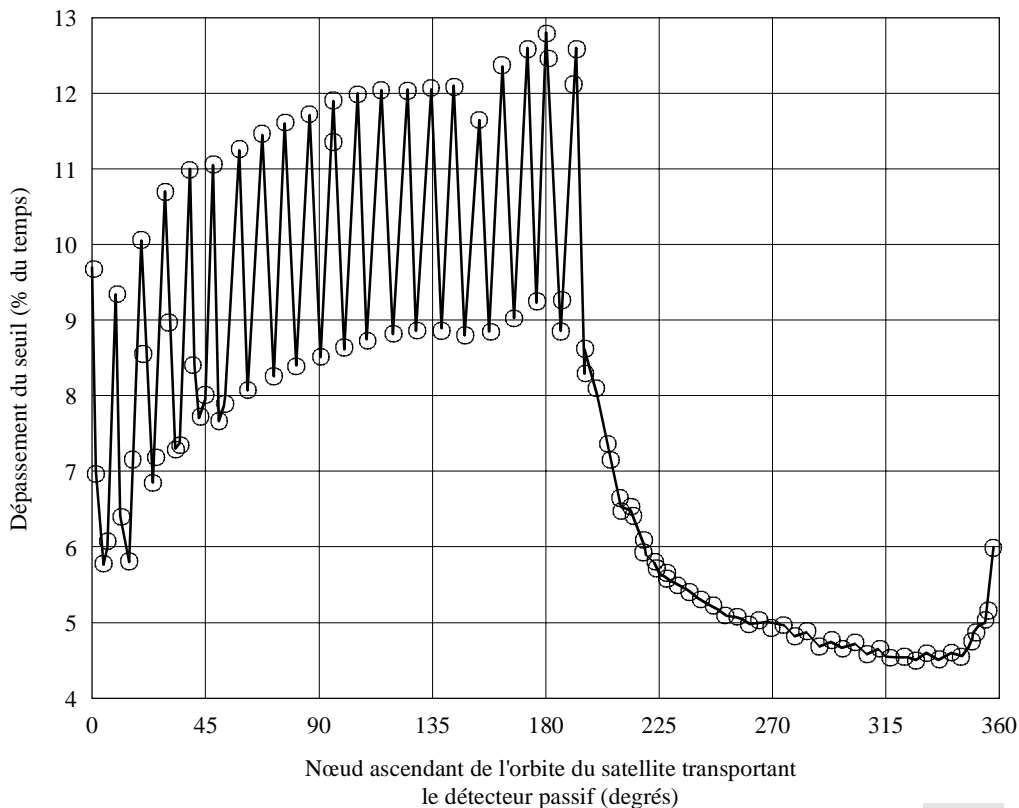
TABLEAU 3

## Niveaux et durées de brouillage

	Niveau au-dessus du seuil de brouillage (dB)	Durée d'un seul événement de brouillage (s)	Intervalle entre deux événements successifs (min)
Configuration 1	18,5-31	1-75	1-81
Configuration 2	7-10	10-665	1-81
Configuration 3	7-65	2-138	1-81

FIGURE 2

## Dépassement de seuil en fonction du nœud ascendant de l'orbite du satellite transportant le détecteur



Chaque point de la Fig. 2 représente le résultat d'une simulation exécutée pour un nœud ascendant donné de l'orbite de l'engin spatial transportant le détecteur SHP. Le pourcentage de temps pendant lequel le niveau de brouillage est supérieur au seuil de brouillage du détecteur est représenté en fonction de ce nœud. En général, pour les calculs relatifs aux points situés le long de la «ligne supérieure» de l'enveloppe de la courbe, le nœud de l'orbite du satellite transportant le détecteur SHP coïncidait avec le nœud ascendant d'un plan orbital de satellite non OSG (par exemple, 0°, 66,5°, ... 180,5° et 190°). Pour les calculs relatifs aux points de données définissant la «ligne inférieure» de l'enveloppe, le nœud de l'orbite du satellite transportant le détecteur SHP était situé entre des plans orbitaux de satellites non OSG. Il convient de noter qu'entre 0° et 50°, le nœud ascendant de l'orbite du satellite transportant le détecteur SHP était choisi aléatoirement, il ne coïncidait pas nécessairement avec un nœud d'orbite de satellite non géostationnaire. En revanche, au-dessus de 50°, le nœud ascendant de l'orbite du satellite transportant le détecteur SHP était choisi de manière à coïncider avec un nœud d'orbite de satellite non OSG ou à être situé au milieu de deux tels nœuds. Les LIS situées dans des plans transversaux et fonctionnant dans le même canal sont plus nombreuses à pointer en direction du détecteur SHP à 180,5° qu'à 0°, d'où un pourcentage de temps de brouillage supérieur si le nœud de l'orbite du satellite transportant le détecteur SHP est à 180,5°.

Pour un détecteur SHP, le seuil de brouillage est de -157 dB(W/400 MHz). C'est ce seuil qui est choisi sur la Fig. 2. Le mode étalonnage n'a pas été modélisé dans la simulation. S'il avait été modélisé, la Fig. 2 aurait fait apparaître un brouillage plus important. Le brouillage est considéré comme excessif chaque fois que le seuil du détecteur est dépassé de plus de 1% du temps.

Si on suppose qu'un dépassement de seuil de  $x\%$  du temps correspond à une altération de  $x\%$  des cellules de mesures explorées par le détecteur, la Fig. 2 montre que les critères de brouillage spatial de la Recommandation UIT-R SA.1029 sont transgressés pour tous les nœuds ascendants qui ont été examinés.

## 4 Conclusion

Les résultats présentés sur la Fig. 2 montrent que les niveaux de brouillage introduits par les LIS de la constellation de satellites non OSG considérée ici dépassent le seuil de brouillage du détecteur pendant 4% à 13% du temps. La valeur du dépassement de seuil dépend de la position du nœud ascendant de l'orbite du satellite transportant le détecteur par rapport aux nœuds ascendants des orbites de la constellation des satellites non OSG.

## ANNEXE 2

### Résultats de l'étude du brouillage causé par des satellites OSG

## 1 Introduction

Lorsque la différence de longitude entre deux satellites OSG communicant par une LIS est suffisamment faible, aucun brouillage n'est causé aux satellites transportant des détecteurs car la liaison n'entre pas dans les sphères orbitales de ces derniers satellites. Une analyse paramétrique a permis de déterminer la puissance surfacique maximale produite par une LIS à l'altitude d'un satellite transportant un détecteur qui n'entraînerait pas de dépassement du seuil de brouillage du détecteur en mode exploration comme en mode étalonnage. Pour les deux modes, les puissances surfaciques maximales ont été obtenues analytiquement. Pour le mode étalonnage, des simulations ont permis de déterminer les statistiques de brouillage. Celles-ci dépendent de l'écart en longitude entre deux satellites OSG. On a réduit l'écart à partir de sa valeur maximale de  $162,6^\circ$  (écart pour lequel la liaison entre deux satellites OSG rase la Terre) jusqu'à ce que le niveau de brouillage se retrouve en dessous du seuil de brouillage du détecteur.

On peut envisager des systèmes OSG qui auraient des gains d'antennes d'émission et de réception compris entre 45 et 60 dBi, des largeurs de bande comprises entre 90 MHz et 1 GHz et des températures de bruit du système de réception valant environ 650 K. Dans les simulations, on a choisi des gains d'antenne de 45, 50, 55 et 60 dBi et une largeur de bande de 1 GHz. Pour les antennes des LIS, on a adopté les diagrammes de rayonnement proposés dans la Recommandation UIT-R S.672. La puissance d'émission des satellites OSG a été ajustée tout au long des simulations pour avoir un rapport  $E_b/N_0$  de LIS de 12 dB. Le Tableau 4 donne un récapitulatif des caractéristiques retenues pour le détecteur hyperfréquences.

TABLEAU 4

Caractéristiques des détecteurs en peigne hyperfréquences

Seuil de brouillage du détecteur	-166 dB(W/100 MHz)
Gain d'antenne maximal	45 dBi -14 dBi lobes arrière
Gain de l'antenne d'étalonnage	35 dBi
Champ de visibilité	+48,5° par rapport au nadir
Altitude	$\leq 1\ 000$ km
Inclinaison	Héliosynchrone ( $100,1^\circ$ pour une altitude de 1 000 km)
Fréquence centrale	56 GHz

## 2 Résultats de l'étude

En mode exploration de la Terre, le détecteur (supposé être du type en peigne) reçoit du brouillage par les lobes latéraux de son antenne, qui ont normalement un gain de -14 dBi. Afin d'éviter tout dépassement du seuil de brouillage lorsque le détecteur est en mode exploration de la Terre, la puissance surfacique produite aux altitudes égales ou inférieures à 1 000 km au-dessus de la surface de la Terre par les signaux émis par une seule LIS ne doit pas dépasser -97 dB(W/(m<sup>2</sup> · 100 MHz)). Une tolérance de 1 dB pour le brouillage provenant de plusieurs LIS abaisse la puissance surfacique admissible à -98 dB(W/(m<sup>2</sup> · 100 MHz)).

En mode étalonnage, le détecteur peut recevoir du brouillage par le lobe principal de son antenne. Le brouillage potentiel est donc beaucoup plus grave dans ce mode. Le niveau du brouillage et la durée des événements de brouillage sont variables, il faut donc une simulation dynamique. Une simulation réalisée avec des détecteurs SHP montre que, pour des antennes de satellite OSG de 45 dBi, le seuil de brouillage du détecteur est dépassé d'environ 5% du temps pour de grands écarts entre les satellites OSG (environ 160°). Le brouillage est négligeable pour des écarts inférieurs à 70°. La durée des événements de brouillage varie entre 0,2 et 21,5 min. En revanche, pour les antennes de satellite OSG de 60 dBi, le seuil de brouillage du détecteur n'est dépassé que de 0,14% du temps pour des écarts longitudinaux supérieurs à 160° et le brouillage est négligeable pour les écarts inférieurs à 160°. La durée des événements de brouillage varie entre 0,1 et 4,1 min. Avec des détecteurs en peigne, les simulations conduiraient à des niveaux de brouillage encore plus élevés.

Les détecteurs en peigne ont des antennes fixées pour capter les signaux en provenance de la Terre. L'antenne d'étalonnage à froid, distincte, sera pointée vers le ciel froid. On peut penser que l'analyse dynamique effectuée avec le détecteur SHP donnera des résultats analogues à ceux obtenus avec une antenne en peigne car les orientations sont similaires. La durée des périodes de brouillage sera fonction du gain de l'antenne d'étalonnage.

Les limites de puissance surfacique applicables aux systèmes SIS OSG doivent être suffisantes pour protéger les systèmes actuels et futurs. Le détecteur SHP actuel a une antenne présentant un gain de 36 dBi, une ouverture apparente de  $-21 \text{ dB/m}^2$  à 58 GHz et une sensibilité de  $-161 \text{ dBW}$ . Avec une marge de 3 dB pour des brouilleurs multiples, il faut une limite de puissance surfacique de  $-143 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$  pour éviter que le détecteur ne subisse de brouillage s'il est pointé en direction de l'OSG. Le gain d'antenne des systèmes d'antenne à balayage en projet sera de 3 dB plus important et il faudra donc une limite de puissance surfacique de  $-146 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ .

Le détecteur en peigne a une sensibilité de  $-166 \text{ dB(W/100 MHz)}$ . Comme indiqué dans le Tableau 5, il peut, avec une limite de puissance surfacique de  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ , être protégé contre les brouillages lorsqu'il pointe en direction de l'OSG si le gain de l'antenne d'étalonnage ne dépasse pas 35 dBi.

TABLEAU 5

**Limite de protection des détecteurs en mode étalonnage**

Paramètre	Détecteur SHP	Détecteur en peigne	AMSR
Seuil de brouillage du détecteur (dB(W/100 MHz))	-161	-166	-161
Gain de l'antenne d'étalonnage (dBi)	36	35	39
Ouverture apparente à 58 GHz (dB/m <sup>2</sup> )	-21	-22	-18
Deux sources de brouillage simultanées (dB)	3	3	3
Puissance surfacique maximale à 1 000 km pour protéger le détecteur (dB(W/(m <sup>2</sup> · 100 MHz)))	-143	-147	-146

Une limite de puissance surfacique de  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$  suffit à protéger les détecteurs passifs contre les brouillages en mode étalonnage; elle ne pénalise que légèrement les LIS OSG. Une réduction supplémentaire qui aboutirait à une limite de puissance surfacique inférieure à  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$  pénaliserait gravement le SIS.

La limite de  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$  protégera le détecteur lorsque son antenne est pointée directement sur l'OSG. On pourrait éviter que les LIS OSG causent des brouillages aux détecteurs passifs en choisissant des directions d'étalonnage de façon à ce que l'antenne ne soit pas dirigée vers l'OSG. Plusieurs facteurs interviennent dans le pointage de l'antenne: inclinaison de l'orbite du détecteur et de l'orbite du SIS OSG, angle d'étalonnage hors nadir et lacet. Il ne sera peut-être pas facile de gérer tous ces facteurs. De plus, pour ce faire, il faudrait une coordination détaillée entre les détecteurs et les réseaux du SIS qui freinerait le développement ultérieur des détecteurs passifs.

### 3 Conclusion

Le partage de spectre entre détecteurs hyperfréquences passifs et LIS OSG est possible si la puissance surfacique produite au niveau du détecteur par chacune de ces liaisons est limitée à  $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$  pour des émissions produites par un réseau SIS (OSG) à toutes les altitudes comprises entre 0 et 1 000 km au-dessus de la surface de la Terre.