

## RECOMMANDATION UIT-R S.1339-1\*

**PARTAGE DE FRÉQUENCES ENTRE LES DÉTECTEURS PASSIFS SPATIOPORTÉS  
DU SERVICE D'EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE ET  
LES LIAISONS INTERSATELLITES DES RÉSEAUX À SATELLITE  
GÉOSTATIONNAIRE DANS LA GAMME 54,25-59,3 GHz**

(Question UIT-R 246/4)

(1997-1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que, conformément à la Résolution 643 (CMR-95) de la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) (CMR-95), l'UIT-R a été chargée d'effectuer les études nécessaires pour identifier les bandes les plus appropriées pour le service intersatellites (SIS) dans la gamme de fréquences 50-70 GHz afin de permettre à la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1997) (CMR-97) de faire les attributions appropriées à ce service;
- b) que la CMR-97 a examiné l'attribution de bandes de fréquences au-dessus de 50 GHz au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive);
- c) que, par suite des décisions de la CMR-97, les bandes de fréquences 54,25-58,2 GHz et 59-59,3 GHz sont actuellement utilisées en partage, à titre primaire avec égalité des droits, par le SETS (passive), le service de recherche spatiale (SRS) (passive) et le SIS;
- d) que cette bande particulière est importante pour les mesures passives et qu'il faut envisager son utilisation en partage par les stations spatiales à détecteur passif et les stations spatiales du SIS;
- e) que l'exploitation en projet du SIS dans les bandes de fréquences au voisinage de 60 GHz s'est accrue de façon importante;
- f) que les caractéristiques techniques et les conditions d'exploitation du SIS dans ces bandes sont exposées dans la Recommandation UIT-R S.1327;
- g) que la Recommandation UIT-R SA.1029 établit les critères de protection contre les brouillages applicables aux détecteurs passifs dans les bandes voisines de 60 GHz;
- h) que des études ont été consacrées à la faisabilité du partage entre les détecteurs passifs spatioportés et les liaisons entre satellites géostationnaires compte tenu des critères de protection ci-dessus (voir l'Annexe 1);
- j) que les études ont conclu au risque de brouillage préjudiciable pouvant être causé par les communications entre satellites non géostationnaires (non OSG) aux détecteurs passifs et à l'impossibilité, en général, de l'utilisation en partage;
- k) que le partage judicieux entre les détecteurs passifs et les systèmes SIS OSG permettrait d'aboutir à une utilisation maximale du spectre des fréquences,

*reconnaissant*

- a) qu'il est nécessaire de poursuivre l'exploitation des systèmes SIS existants ou en projet dans la bande 56,9-57,0 GHz et que des études ont montré que ces systèmes ne causeraient pas de brouillage préjudiciable aux détecteurs du SETS (passive);
- b) que, sur la base des études de partage reproduites dans l'Annexe 1, la CMR-97 a décidé d'adopter le numéro S5.556A du Règlement des radiocommunications (RR),

*recommande*

- 1** que les méthodes décrites dans l'Annexe 1 soient appliquées à la conception des réseaux OSG du SIS afin qu'ils respectent la limite de puissance surfacique définie dans le numéro S5.556A du RR.

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 7 des radiocommunications.

## 1 Introduction

La présente Annexe contient des résumés d'études de partage et des méthodes de calcul des conditions de partage entre les détecteurs passifs du SETS et les systèmes du SIS OSG, établis compte tenu des Recommandations UIT-R SA.1028 et UIT-R SA.1029. Toutefois, comme celles-ci ont été révisées, il conviendrait de revoir la présente étude et d'envisager d'en modifier les conclusions.

## 2 Hypothèses

Les détecteurs passifs en projet fonctionneront sur des orbites héliosynchrones quasi polaires (inclinaison de l'ordre de 99°) à des altitudes inférieures à 1 000 km.

### 2.1 Hypothèses relatives aux détecteurs

#### 2.1.1 Le détecteur sondeur hyperfréquences perfectionné (SHP)

Le détecteur SHP doit entrer en service dans un avenir proche avec les paramètres annoncés dans le Tableau 1. En mode détection, il balaye la surface de la Terre; ce balayage est perpendiculaire au vecteur de vitesse et passe par le nadir (Fig. 1). Pour se calibrer, le détecteur s'oriente vers un point de l'espace à l'écart du soleil. L'angle d'étalonnage peut être de 65° à 85° par rapport au nadir. Dans le présent exemple, on suppose qu'il est de 83,3°.

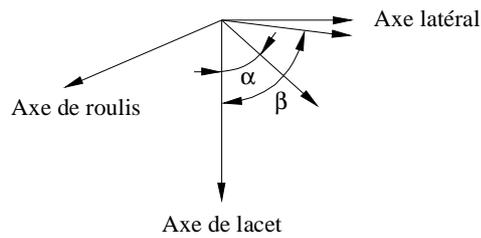
TABLEAU 1

Hypothèses relatives aux détecteurs

Caractéristique	Détecteur SHP	Détecteur en peigne
Période (s)	6 304	6 304
Altitude (km)	833	833
Diagramme de l'antenne d'étalonnage	Rapport 558 de l'ex-CCIR	Rapport 558 de l'ex-CCIR
Lobe arrière de l'antenne d'étalonnage (dBi)	-10	-10
Diamètre de l'antenne d'étalonnage (m)	0,15	0,133
Gain de l'antenne d'étalonnage (dBi)	36	35
Fréquence (GHz)	54,25	54,25
Inclinaison (degrés)	98,7	98,7
Secteur angulaire d'étalonnage (degrés)	65-85	A déterminer
Angle d'étalonnage prévu (degrés)	83,3	A déterminer
Seuil de brouillage (dBW dans 100 MHz)	-161	-166
Risque de brouillage de temps (%)	< 0,01	< 0,01

FIGURE 1

Plan de balayage du détecteur passif



$\alpha$ : angle de balayage du détecteur SHP ( $\pm 48^\circ$ )

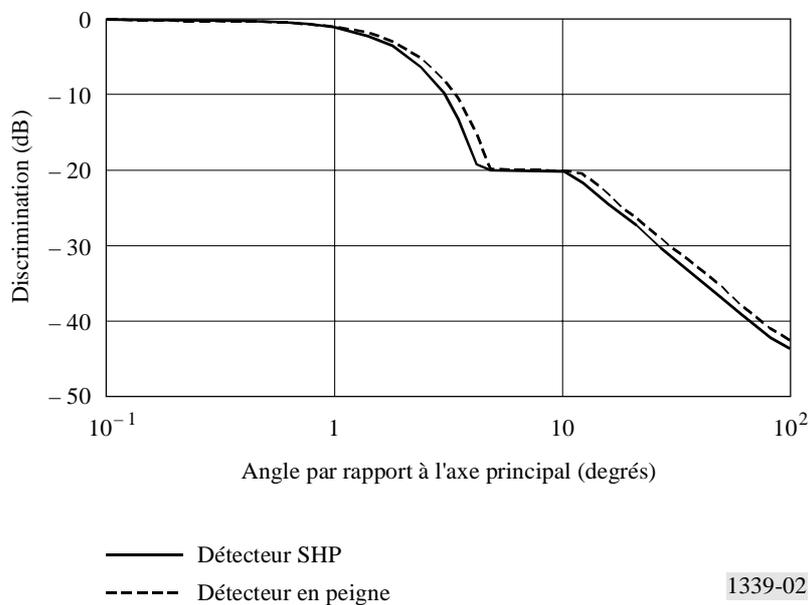
$\beta$ : angle d'étalonnage du détecteur SHP ( $83,3^\circ$ )

1339-01

Les étalonnages sont tous perpendiculaires à l'axe de roulis, et le lieu des vecteurs d'étalonnage est un cône. Par rapport au plan de l'équateur, l'axe du cône est incliné d'un angle  $\Phi$ , égal à  $i - 90^\circ$ , où  $i$  est l'angle d'inclinaison (degrés). Le diagramme de l'antenne du détecteur SHP est représenté sur la Fig. 2. Le diagramme utilisé dans la présente analyse a été modifié de manière à fournir un lobe arrière de  $-10$  dBi, conformément à la conception du détecteur. Ce changement n'influe en rien sur l'analyse, étant donné qu'il a été montré que le couplage par le lobe arrière avec le SIS OSG ne produit pas de brouillage.

FIGURE 2

Diagrammes d'antenne d'étalonnage de détecteur



1339-02

2.1.2 Le détecteur en peigne

Le niveau de brouillage admissible des détecteurs en peigne spécifié dans la Recommandation ITU-R SA.1029 est de  $-166$  dBW dans une bande de 100 MHz. Comme dans le cas du détecteur à balayage, la configuration de brouillage la plus défavorable qu'il y a lieu d'examiner est celle du mode étalonnage, quand le détecteur est orienté vers l'espace froid et que le brouillage peut être couplé dans le faisceau principal de l'antenne du détecteur.

Le détecteur à balayage SHP est équipé d'une antenne rotative mécanique courante, tant pour la détection que pour l'étalonnage. Donc, le gain du faisceau principal de cette antenne à gain élevé (36 dBi) doit être pris en compte dans l'analyse des niveaux de brouillage. L'avantage du détecteur en peigne, par rapport au détecteur à balayage, est que son antenne n'a pas à être entraînée mécaniquement, étant donné que son orientation par rapport à la Terre est fixe.

Les détecteurs en peigne ne devraient pas entrer en service avant 2005; leur conception n'est d'ailleurs pas entièrement terminée. Toutefois, il est clair qu'il ne sera manifestement pas souhaitable d'utiliser la même antenne pour l'étalonnage et pour la détection atmosphérique. Une solution probable consistera à placer une antenne d'étalonnage séparée, fixe, sur le côté de l'engin spatial opposé à celui faisant face à la Terre. Cette antenne d'étalonnage ne devra pas avoir un gain très élevé; en fait, une antenne de petites dimensions ayant un gain modéré présenterait des avantages du point de vue de la conception mécanique.

Dans la présente analyse, on part du principe que l'antenne d'étalonnage du détecteur en peigne dispose d'un capteur ayant un gain analogue à celui d'un détecteur SHP, mais avec une plus grande efficacité du lobe principal, élargissant réellement celui-ci. Par ailleurs, il faut noter que la commande de lacet est régulièrement utilisée lorsque le satellite comporte aussi un détecteur actif tel qu'un diffusiomètre de vent, ce qui est le cas d'ERS-1 et de METOP. Cette commande de lacet a pour but de compenser la rotation de la Terre afin de rendre la ligne zéro Doppler perpendiculaire au plan contenant les axes de lacet et de roulis du satellite. Dans le cas d'une orbite héliosynchrone à 850 km d'altitude, la valeur maximale de la commande de lacet au passage de l'équateur est de  $\pm 4^\circ$  environ.

Etant donné que le brouillage admissible du détecteur en peigne est inférieur à celui du détecteur SHP, on peut en conclure que la limite de puissance surfacique adoptée pour protéger correctement les détecteurs en peigne contre le brouillage assure également une protection adéquate des détecteurs SHP.

## 2.2 Hypothèses relatives au SIS OSG

Les hypothèses relatives au SIS OSG figurant dans le Tableau 2 sont reprises de la Recommandation UIT-R S.1327. La valeur théorique maximale de séparation orbitale (ligne 7) est déterminée par le rapport  $C/N$  minimal de la liaison dont on suppose qu'il est de 12 dB. Cette valeur calculée ne tient pas compte de l'affaiblissement atmosphérique. La ligne 8 est la discrimination d'antenne de l'OSG au point correspondant à l'altitude 1 000 km. La ligne 9 est la puissance surfacique correspondant au point 1 000 km. On notera que trois systèmes seulement (W1, W2A et W4) peuvent établir leurs liaisons à la séparation maximale de 162,6 km. On notera aussi qu'il faut une p.i.r.e. de 65 dBW ou davantage pour fermer la boucle à la séparation angulaire de  $120^\circ$  sur l'orbite. Le diagramme d'antenne supposé est celui du Rapport 558 de l'ex-CCIR, modifié pour un niveau des lobes arrière de  $-10$  dBi.

Certains systèmes du SIS sont conçus pour des séparations angulaires de l'ordre de  $160^\circ$ , d'autres pour des séparations orbitales moindres. La puissance surfacique à 1 000 km dépendra de la séparation orbitale du SIS OSG. La puissance surfacique à 1 000 km d'un système tel que W2A est illustrée à la Fig. 3 à titre d'exemple. On y constate que, pour obtenir une puissance surfacique de  $-155$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans 100 MHz, les systèmes W2A auraient une séparation angulaire maximale de  $140^\circ$ .

FIGURE 3  
Séparation angulaire permise sur l'OSG en fonction  
de diverses limites de puissance surfacique

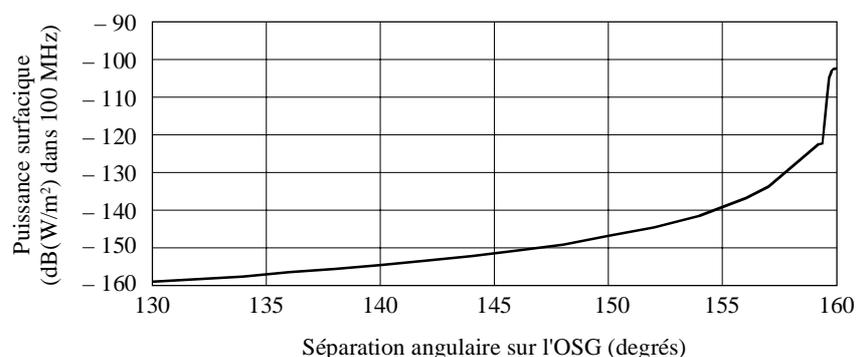


TABLEAU 2

## Hypothèses relatives au SIS OSG

Ligne	Caractéristique	W1	W2A	W2B	W3A	W3B	W4	W5	W6	W7	W8
1	Puissance (dBW)	13	16	-1	8,5	8,5	8	11,76	13	13	13
2	p.i.r.e. (dBW)	71,5	75	57	54,5	64	68,3	64,76	63,3	62,1	68,7
3	Largeur de bande (GHz)	1,00	3,2	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	0,12	0,12	1,00
4	p.i.r.e. (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)	61,3	61	57	47,5	56,5	58,3	54,8	62,5	61,3	58,7
5	Bruit du système (K)	468	800	2 034	300	300	630	300	290	290	330
6	Diamètre (m)	1,8	2,0	2,0	0,4	1,2	1,8	0,77	0,75	0,75	1,0
7	Séparation orbitale théorique maximale (degrés)	162,6	162,6	78,6	10,1	67,3	162,6	53,9	111,1	77,4	136,4
8	Discrimination d'antenne de l'OSG à 1 000 km (dB)	0,0	0,0	65,7	54,8	61,4	0,0	58,1	49,6	55,0	44,8
9	Puissance surfacique à 1 000 km (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)	-102,2	-102,5	-172,2	-170,8	-168,4	-105,2	-166,8	-150,6	-157,2	-149,6

### 3 Etablissement d'une limite de puissance surfacique de l'émission du SIS OSG pour protéger le SETS (passive)

Des études antérieures sur les détecteurs en question ont montré que le cas le plus défavorable se présente lorsqu'un détecteur passif est en mode étalonnage purement géométrique, c'est-à-dire lorsqu'il est tourné vers l'espace, et non vers la Terre comme c'est le cas en mode détection. On part du principe qu'il y a deux situations possibles de cas le plus défavorable:

*Cas 1:* Lorsqu'un détecteur se trouve dans le faisceau principal de la station du SIS OSG

*Cas 2:* Quand la station du SIS OSG se trouve dans le faisceau principal du détecteur.

Ces deux cas seront examinés ci-après pour déterminer le niveau de puissance surfacique.

#### 3.1 Cas 1 – Le détecteur se trouve dans le faisceau principal de la station du SIS OSG

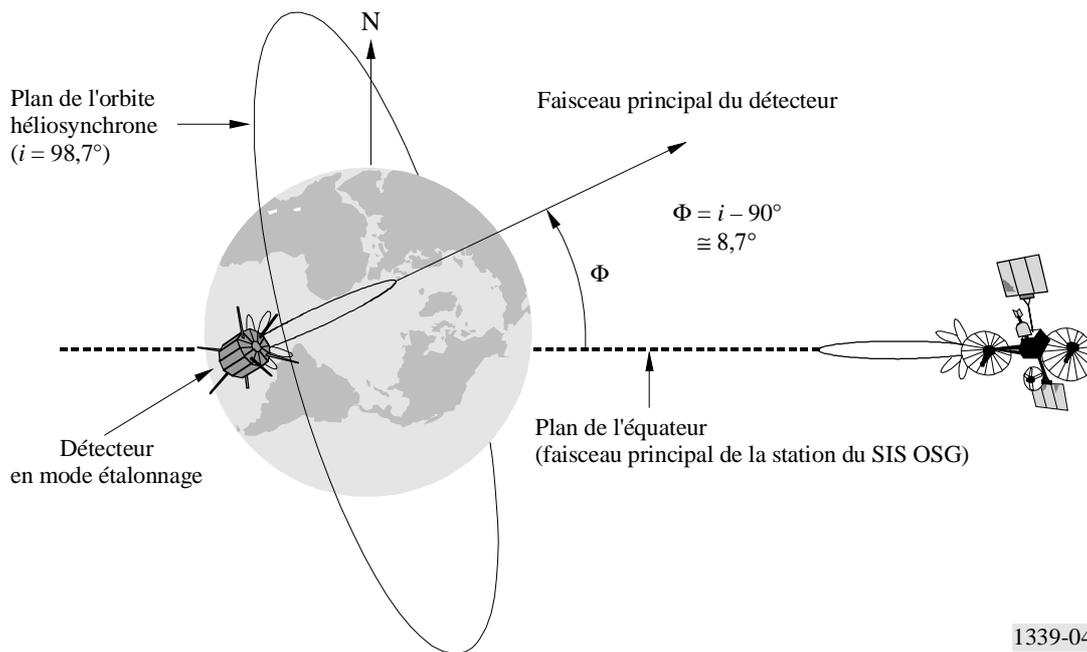
Le détecteur ne peut se trouver dans le faisceau principal d'une station du SIS OSG que pour une séparation angulaire des stations du SIS OSG proche de 160°.

Dans le cas 1, illustré par la Fig. 4, le faisceau principal de la station du SIS OSG est dirigé vers le détecteur passif. A l'équateur, le détecteur passif s'étalonne à un angle  $\Phi$  par rapport à la station du SIS OSG, soit l'angle d'inclinaison diminué de 90°. Le faisceau principal du détecteur passif n'est donc pas orienté vers la station du SIS OSG.

L'angle d'inclinaison,  $i$ , du détecteur diminué de 90° est l'angle  $\Phi$ , angle réel par rapport à l'axe de visée, au détecteur passif, vers l'arc de l'OSG. Cet angle est d'environ 9°, valeur dont il faut soustraire l'angle de commande de lacet, qui est de 4°. La Fig. 2 montre que, pour un angle de 5°, la discrimination de l'antenne du détecteur est de 20 dB. Un facteur de 3 dB est ajouté pour les systèmes OSG multiples. Dans ces conditions, la limite de puissance surfacique nécessaire pour protéger les détecteurs passifs (dans ce cas) est de -126,9 dB (Tableau 3).

Si l'orbite du satellite du SIS OSG apparaissait inclinée, la puissance surfacique nécessaire pour protéger le détecteur serait donnée par les valeurs du Tableau 4. Le cas le plus défavorable est donc -147 dB(W/m<sup>2</sup>) dans 100 MHz.

FIGURE 4  
**Détecteur passif dans le plan de l'équateur**



1339-04

TABLEAU 3

**Limite de puissance surfacique nécessaire pour protéger les détecteurs passifs**

Élément	Avec discrimination
Brouillage admissible du détecteur (dBW dans 100 MHz)	-166,0
Gain d'antenne (vers l'arc OSG) (dBi)	15
Ouverture équivalente (dB(m <sup>2</sup> ))	-42,1
Facteur pour systèmes OSG multiples (dB)	3,0
Limite de puissance surfacique résultante (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)	-126,9

TABLEAU 4

**Puissance surfacique en cas d'OSG inclinée**

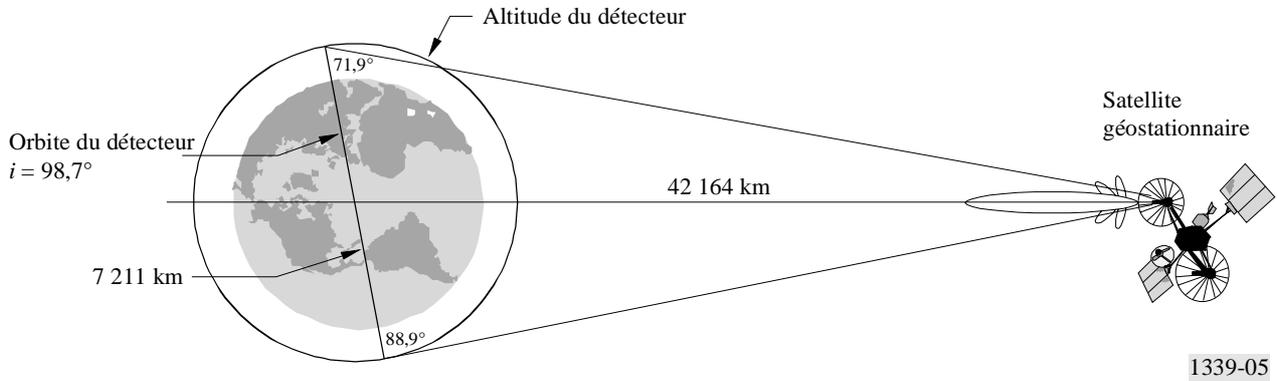
Inclinaison de l'OSG (degrés)	Puissance surfacique (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)
0	-127
De 0 à 5	$-147 + 0,78(5 - i^2)$
Supérieure à 5	-147

### 3.2 Cas 2 – La station du SIS OSG se trouve dans le faisceau principal du détecteur

Dans ce cas, illustré par la Fig. 5, le détecteur passif effectue une mesure d'étalonnage en direction de l'arc de l'OSG. L'analyse géométrique montre que le détecteur ne peut voir l'arc de l'OSG qu'aux angles inférieurs à 71,9° ou supérieurs

à  $88,9^\circ$ . La gamme d'angles d'étalonnage d'un détecteur SHP est de  $65^\circ$  à  $85^\circ$ . Si le détecteur procède à l'étalonnage à un angle inférieur à  $71,9^\circ$ , une station du SIS OSG peut se trouver dans son faisceau principal. Une solution évidente serait de faire l'étalonnage des détecteurs entre  $75^\circ$  et  $85^\circ$  seulement, ce qui éviterait de les pointer en direction de l'arc de l'OSG.

FIGURE 5  
**Géométrie du second cas**  
 Vue du plan de l'équateur

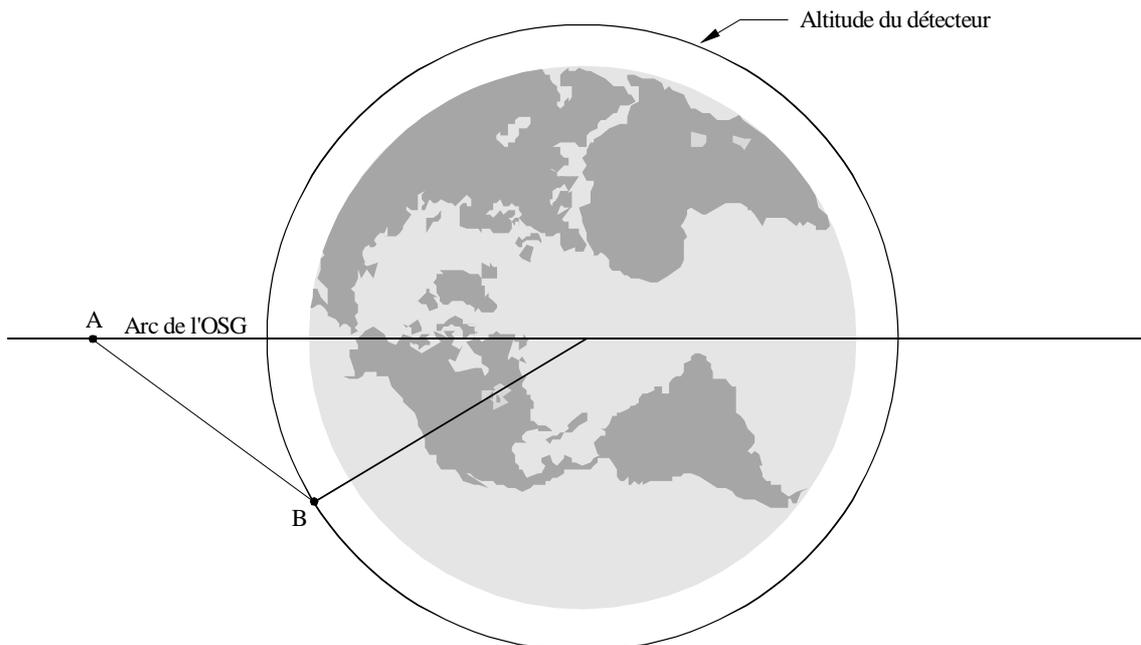


1339-05

Bien que la conception des détecteurs SHP permette d'utiliser la plage souhaitable de  $75^\circ$  à  $85^\circ$ , il est peut-être prématuré d'admettre que les détecteurs utiliseront toujours des angles d'étalonnage proches de  $80^\circ$ . Si un détecteur effectue l'étalonnage en direction de l'arc de l'OSG, il faut calculer l'angle de discrimination par rapport à l'OSG. On trouvera dans les paragraphes qui suivent les méthodes permettant de calculer la puissance surfacique au niveau du détecteur.

L'angle entre l'OSG et le détecteur est illustré par la Fig. 6. Dans cette vue depuis l'OSG, la station du SIS OSG est pointée vers une autre station du SIS OSG au point A. L'angle formé par le segment A-B (de la station du SIS OSG au détecteur) est celui qui présente de l'intérêt. Il est fonction de la séparation OSG et de l'anomalie moyenne du détecteur.

FIGURE 6  
**Angle de dépointage de l'OSG au détecteur passif**  
 Vue depuis l'OSG



A: point de visée de la station SIS OSG

B: point où se trouve le détecteur passif

1339-06

### 3.3 Méthode de calcul de la puissance surfacique d'une liaison intersatellites (LIS) OSG mesurée à une latitude donnée sur la sphère orbitale du détecteur

Pour calculer la puissance surfacique d'une LIS OSG mesurée à une latitude donnée sur la sphère orbitale du détecteur, on utilise la terminologie du Tableau 5.

TABLEAU 5

#### Terminologie de la méthode de calcul de la puissance surfacique

Symbole	Définition
Données	
$\Delta\Omega$	Séparation orbitale de deux satellites géostationnaires (degrés)
$\lambda$	Latitude subsatellite, en supposant que la Terre soit sphérique (valeur absolue) (degrés)
$r_{OSG}$	Rayon de l'OSG (km)
$r_{sens.}$	Rayon de l'orbite du détecteur ( <i>sensor</i> ) (km)
$i_{OSG}$	Inclinaison du plan de l'OSG (valeur absolue) (degrés)
$P$	Puissance d'émission d'une LIS OSG dans une largeur de bande de référence de 100 MHz (dBW dans 100 MHz)
$G(\theta)$	Gain hors axe de l'antenne de l'émetteur de la LIS OSG (dB)
Valeurs intermédiaires	
$\lambda'$	Latitude subsatellite réelle compte tenu de l'inclinaison de l'OSG (degrés)
$b$	Demi-distance entre deux satellites géostationnaires (km)
$z$	Distance, à la latitude $\lambda'$ , du point milieu de la LIS OSG au point le plus proche sur la sphère orbitale du détecteur (km)
$h$	Distance verticale, à la latitude $\lambda'$ , du détecteur au plan de l'OSG (km)
$a_2$	Distance horizontale, à la latitude $\lambda'$ , du détecteur à l'axe de rotation de la Terre (km)
$a_1$	Distance horizontale, à la latitude $\lambda'$ , du détecteur au point milieu de la LIS OSG (km)
Résultats	
$R$	Distance, à la latitude $\lambda'$ , de l'émetteur de la LIS OSG au point de plus grand rapprochement de la liaison avec la sphère orbitale du détecteur (km)
$\theta$	Angle hors axe, à la latitude $\lambda'$ , entre l'émetteur de la LIS OSG et la tangente à la sphère orbitale du détecteur (degrés)
Puissance surfacique, $pdf$	Puissance surfacique, à la latitude $\lambda'$ , de la LIS OSG mesurée au point de contact de la tangente avec la sphère orbitale du détecteur (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)

La puissance surfacique produite par une LIS entre satellites OSG à une latitude donnée sur la sphère orbitale du détecteur est mesurée au point de plus grand rapprochement de la liaison avec la sphère orbitale du détecteur comme indiqué sur la Fig. 7.

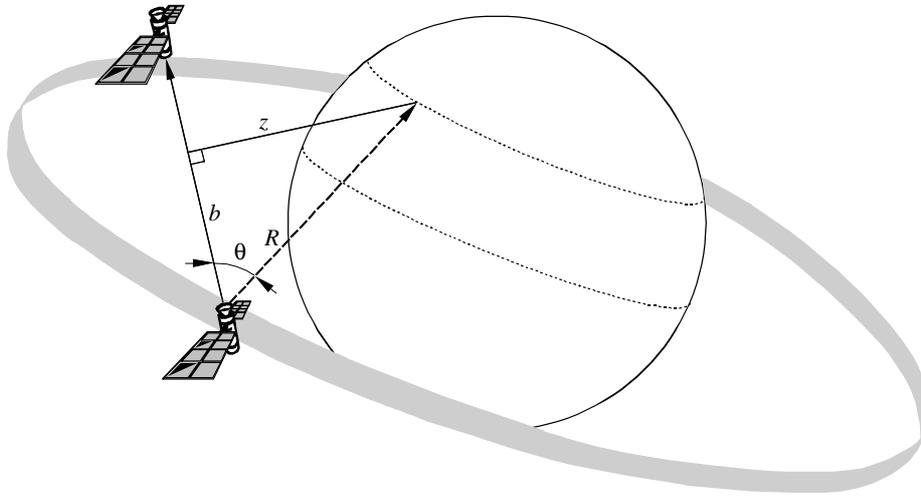
Comme indiqué sur la Fig. 8,  $b$  est la demi-distance entre les satellites géostationnaires émetteur et récepteur, donnée par:

$$b = r_{OSG} \sin(\Delta\Omega/2) \quad \text{km}$$

La latitude subsatellite réelle  $\lambda'$  est calculée de manière à compenser l'inclinaison du plan de l'OSG:

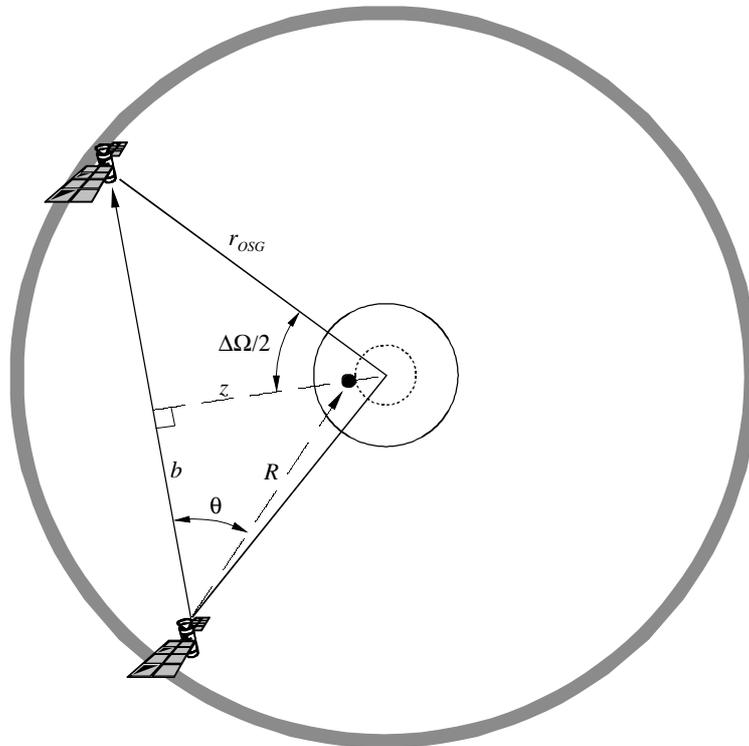
$$\lambda' = \begin{cases} \lambda - i_{OSG} & \text{si } \lambda \geq i_{OSG} \\ i_{OSG} & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

FIGURE 7  
 Point de plus grand rapprochement avec la LIS OSG



1339-07

FIGURE 8  
 Vue polaire de la distance  $b$



1339-08

La distance  $a_1$ , représentée sur la Fig. 9, est:

$$a_1 = \sqrt{r_{OSG}^2 - b^2} - a_2 \quad \text{km}$$

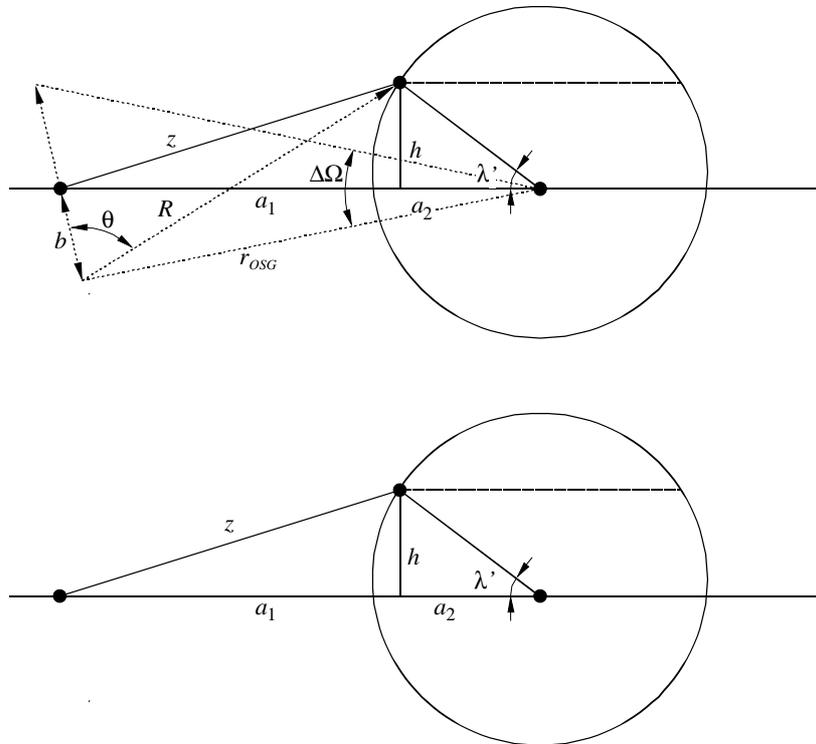
où:

$$a_2 = r_{sens.} \cos \lambda' \quad \text{km}$$

Par substitution, on obtient:

$$a_1 = \sqrt{r_{OSG}^2 - b^2} - r_{sens.} \cos \lambda' \quad \text{km}$$

FIGURE 9  
Vue de la distance  $a_1$  le long du plan de l'OSG



1339-09

La distance  $h$  du détecteur par rapport au plan de l'OSG est:

$$h = r_{sens.} \sin \lambda' \quad \text{km}$$

de telle manière qu'à la latitude  $\lambda'$ , la distance la plus courte  $z$  de la LIS à la sphère orbitale du détecteur est:

$$z = \sqrt{a_1^2 + h^2} \quad \text{km}$$

La distance  $R$  de l'émetteur de la LIS OSG au point de la sphère du détecteur le plus rapproché de la LIS est:

$$R = \sqrt{z^2 + b^2} \quad \text{km}$$

et l'angle hors axe de l'émetteur de la LIS OSG est:

$$\theta = \text{tg}^{-1}(z/b) \quad \text{degrés}$$

La puissance surfacique,  $pdf$ , calculée à la latitude  $\lambda$  sur la sphère du détecteur est dès lors donnée par:

$$pdf = \begin{cases} P + G(\theta) - 10 \log(4\pi(R \times 1000)^2) \\ P + G(\theta) - (20 \log R + 20 \log 1000 + 10 \log 4\pi) \\ P + G(\theta) - 20 \log R - 71 \quad \text{dB (W/m}^2\text{) dans 100 MHz} \end{cases}$$

où  $G(\theta)$  est le gain hors axe de l'antenne d'émission de la LIS OSG. On trouvera au Tableau 6 les résultats d'un exemple de calcul.

TABLEAU 6  
Calcul de la puissance surfacique

Données d'entrée	
$\Delta\Omega$ (degrés)	150
$\lambda$ (degrés)	49,0
$r_{OSG}$ (km)	42 164
$r_{sens.}$ (km)	7 378
$i_{OSG}$ (degrés)	2
$P$ (dBW dans 100 MHz)	2,8
Gain maximal (dBi)	58,5
$G(\theta)$ (dB)	Voir $G(\psi)$ dans la Rec. UIT-R S.672, Annexe 1
Résultats	
$R$ (km)	41 502
$\theta$ (degrés)	11,1
$G(\theta)$ (dB)	8,2
Puissance surfacique, $pdf$ (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)	-152,3

### 3.4 Méthode de calcul de la latitude à laquelle se trouve le détecteur lorsqu'il pointe vers l'arc de l'OSG

L'un des éléments utilisés dans le calcul de la puissance surfacique est  $\lambda$ , la latitude de l'engin spatial lorsqu'il est pointé vers l'arc OSG. Cet angle,  $\lambda$ , se calcule par la méthode ci-après.

Un détecteur passif en orbite terrestre basse doit effectuer un étalonnage en espace froid. Il le fait en pointant son antenne de manière à viser un point à l'écart de la Terre et du soleil, à un angle  $\alpha$  par rapport au plan de son orbite. Le problème se pose quand la combinaison de l'angle d'étalonnage  $\alpha$  et de la position sur l'orbite du détecteur fait que le trajet d'étalonnage coupe l'arc de l'OSG. Il s'agit ici de déterminer, pour une géométrie donnée, les emplacements de l'orbite du détecteur auxquels cela peut se produire.

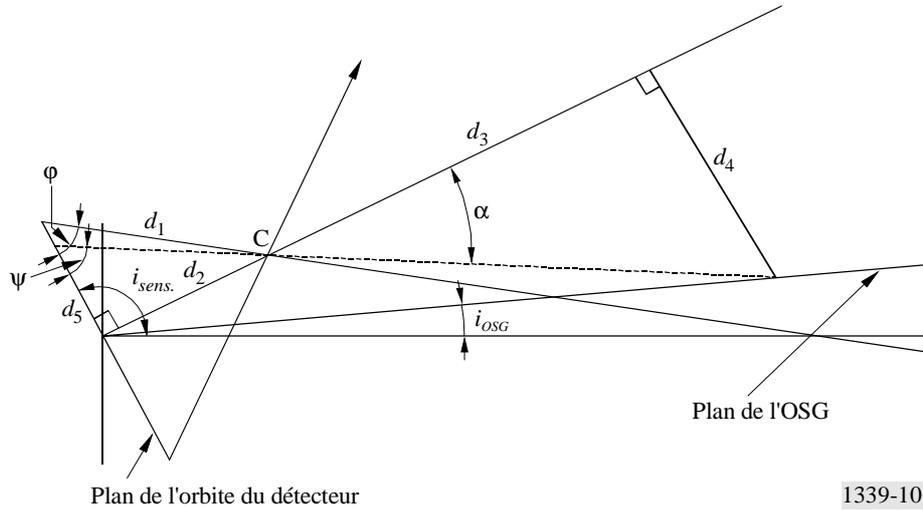
Étant donné:

- $r_{sens.}$ : rayon de l'orbite du détecteur
- $i_{sens.}$ : inclinaison de l'orbite du détecteur
- $i_{OSG}$ : inclinaison du plan de l'OSG
- $\varphi$ : angle d'étalonnage du détecteur
- $r_{OSG}$ : rayon de l'OSG

trouver  $\lambda$  la latitude à laquelle le trajet d'étalonnage du détecteur peut couper l'arc de l'OSG.

Le trajet d'étalonnage est toujours orienté vers un point C, comme indiqué à la Fig. 10.

FIGURE 10  
Géométrie pour le calcul de la latitude du détecteur



1339-10

Les distances et les angles sont déterminés par la méthode ci-après.

FIGURE 11  
Angle de latitude du détecteur

$$d_1 = \frac{r_{sens.}}{\cos \varphi}$$

$$d_2 = d_1 \sin \varphi$$

$$d_3 = r_{OSG} \cos(i_{sens.} - 90^\circ - i_{OSG})$$

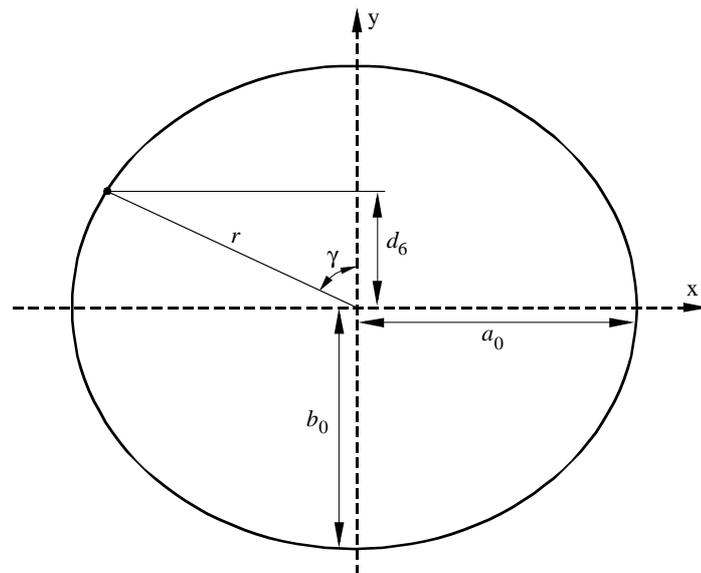
$$d_4 = r_{OSG} \sin(i_{sens.} - 90^\circ - i_{OSG})$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{d_4}{d_3 - d_2}\right)$$

$$\psi = 180^\circ - (90^\circ + \alpha)$$

$$d_5 = d_2 (\sin \alpha / \sin \psi)$$

$$d_6 = d_5 \cos(i_{sens.} - 90^\circ)$$



1339-11

Résoudre l'équation pour l'angle  $\gamma$  (Fig. 11).

$$\begin{aligned}x &= r \sin \gamma \\y &= d_6\end{aligned}$$

$$\frac{r^2 \sin^2 \gamma}{a_0^2} + \frac{d_6^2}{b_0^2} = 1$$

où:

$$\begin{aligned}a_0 &= r_{sens.} \\b_0 &= r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)\end{aligned}$$

$r$  étant comme indiqué sur la Fig. 11.

Par substitution:

$$\frac{r^2 \sin^2 \gamma}{r_{sens.}^2} = 1 - \frac{d_6^2}{[r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)]^2}$$

et vu que:

$$\begin{aligned}r^2 &= d_6^2 + x^2 = d_6^2 + r^2 \sin^2 \gamma \\r^2 &= \frac{d_6^2}{(1 - \sin^2 \gamma)}\end{aligned}$$

On en conclut que:

$$\frac{\sin^2 \gamma}{r_{sens.}^2 (1 - \sin^2 \gamma)} = \frac{1}{d_6^2} - \frac{1}{[r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)]^2}$$

$$\frac{\sin^2 \gamma}{1 - \sin^2 \gamma} = \frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}$$

$$\text{tg}^2 \gamma = \frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}$$

$$\gamma = \text{tg}^{-1} \sqrt{\frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}}$$

$$\lambda = 90^\circ - \gamma$$

On trouvera au Tableau 7 les résultats d'un calcul fait à titre d'exemple.

TABLEAU 7

## Exemple de calcul de la latitude

Facteur	
Inclinaison de l'orbite du détecteur (degrés)	100,1
Altitude du détecteur (km)	1 000
Angle d'étalonnage (degrés)	70,0
Inclinaison de l'OSG (degrés)	2,0
Résultat	
Latitude (degrés) à laquelle le faisceau principal du détecteur coupe l'arc OSG	49,0

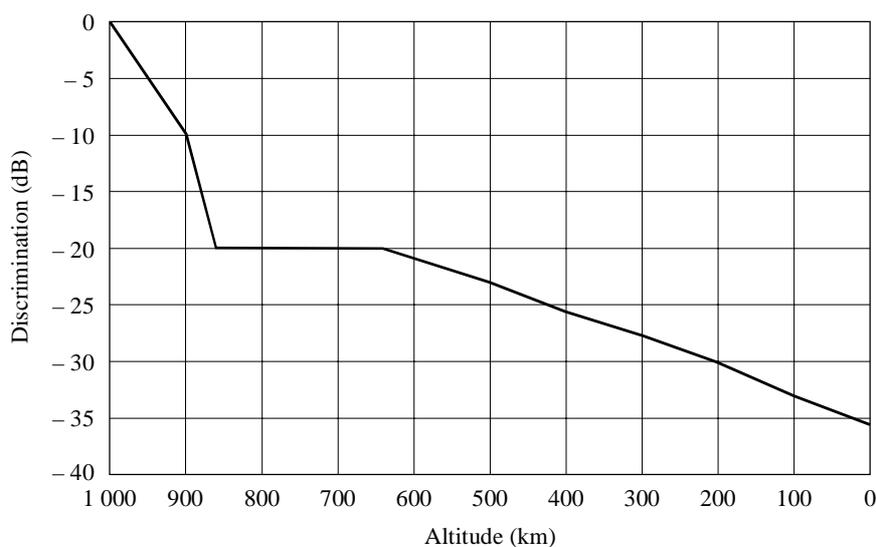
### 3.5 Puissance surfacique aux altitudes inférieures à 1 000 km

La discrimination d'un système SIS OSG type (pointé vers l'altitude 1 000 km) est représentée à la Fig. 12. Si un détecteur se trouve sur une orbite plus basse que 1 000 km, on peut assouplir les prescriptions de puissance surfacique.

FIGURE 12

#### Discrimination d'un système SIS OSG type depuis 1 000 km

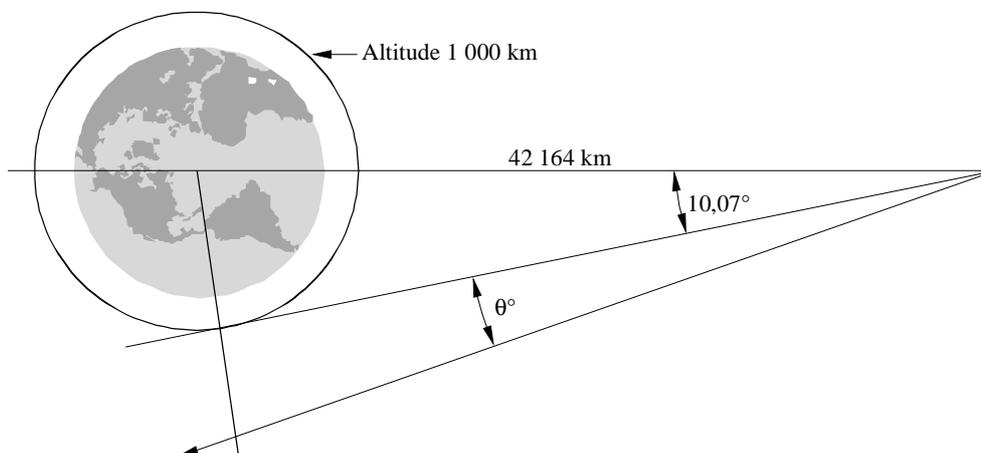
(Puissance surfacique maximale à 1 000 km)



### 3.6 Effet de la puissance surfacique sur les systèmes SIS OSG

Une limite de puissance surfacique restreint l'angle de séparation des satellites pour les systèmes SIS OSG (Fig. 13).

FIGURE 13  
Vue depuis le pôle Nord, par rapport à 1 000 km



$\theta$ : angle nécessaire pour obtenir la puissance surfacique voulue à une altitude de 1 000 km

1339-13

Le Tableau 8 énumère les séparations orbitales angulaires maximales (ligne 1) ainsi que les limites opérationnelles calculées (ligne 5) pour des puissances surfaciques de  $-128$  à  $-147$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans 100 MHz pour les trois systèmes qui, par leur conception, dépassent la limite de puissance surfacique. Cela complète l'analyse du cas 1.

TABLEAU 8  
Séparation angulaire maximale des satellites pour les systèmes du SIS OSG

Ligne	Système	W1	W2A	W2B	W3A	W3B	W4	W5	W6	W7	W8
1	Séparation orbitale théorique (degrés)	162,6	162,6	78,6	10,1	67,3	162,6	53,9	111,1	77,4	136,4
2	Puissance surfacique à 1 000 km (dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz)	-102,2	-102,5	-172,2	-170,8	-168,4	-105,2	-166,8	-150,6	-157,2	-149,6
3	Marge du détecteur (dB)	-21,8	-21,5	48,2	46,8	44,8	-18,8	42,8	24,4	33,2	25,6
4	Limite de séparation (degrés) pour respecter la limite de puissance surfacique de $-128$ dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz	158,3	158,5	-	-	-	159,3	-	-	-	-
5	Limite de séparation (degrés) pour respecter la limite de puissance surfacique $-147$ dB(W/m <sup>2</sup> ) dans 100 MHz	146,5	148,2	-	-	-	149,1	-	-	-	-

Certains systèmes du SIS OSG fonctionnent avec des séparations longitudinales atteignant  $162,6^\circ$ . Toutefois, lorsqu'il faut respecter les limites de puissance surfacique de  $-128$  à  $-147$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans 100 MHz, des systèmes types du SIS OSG peuvent être nécessaires pour fonctionner avec des séparations plus petites.

### 3.7 Conclusions en ce qui concerne la détermination analytique de la puissance surfacique pour le SIS OSG

Il a été démontré qu'une puissance surfacique pour une source unique de  $-147 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans 100 MHz protège les détecteurs passifs spatioportés dans toutes les configurations possibles de détecteurs et de systèmes du SIS OSG. Un assouplissement de cette valeur (de l'ordre de 10 à 20 dB) est possible selon les caractéristiques particulières des systèmes étudiés.

## 4 Conclusions

La présente Annexe contient des méthodes de calcul du brouillage causé à un détecteur à bord d'un satellite en orbite terrestre basse. Ces méthodes peuvent servir à calculer les critères nécessaires pour respecter les niveaux de brouillage spécifiés dans la Recommandation UIT-R SA.1029. La valeur de puissance surfacique minimale permettant de protéger tous les détecteurs contre les brouillages, quelle que soit la configuration, a été fixée à  $-147 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans 100 MHz; elle est suffisante pour protéger les détecteurs passifs contre les brouillages dans toutes les configurations détecteurs passifs et systèmes du SIS OSG possibles. Dans certaines configurations spécifiques des systèmes du SIS OSG et des détecteurs passifs, cette valeur peut être assouplie de 10 à 20 dB.

Il a par ailleurs été démontré que, pour des angles d'étalonnage compris entre  $75^\circ$  et  $85^\circ$  par rapport au nadir, le faisceau du détecteur ne coupe jamais l'arc de l'OSG. Aussi, le fait d'imposer comme objectif nominal un angle d'étalonnage de  $80^\circ$  (ce qui est le cas du détecteur SHP) favorisera le partage avec le SIS OSG.

Le brouillage des détecteurs passifs en projet par les systèmes existants a également été examiné. L'analyse a porté sur des détecteurs fonctionnant dans le SETS (passive) sur une orbite héliosynchrone (inclinaison proche de  $98,7^\circ$ ) à une altitude inférieure à 1 000 km. En mode détection, lorsqu'ils sont tournés vers la Terre, ces détecteurs sont protégés contre les émissions d'émetteur OSG par le lobe arrière de leur antenne. Toutefois, ces détecteurs peuvent être brouillés par les émetteurs OSG lorsqu'ils sont tournés vers l'espace, c'est-à-dire pendant leur étalonnage.

---