

RAPPORT UIT-R SM.2091<sup>\*,\*\*</sup>

**Etudes relatives à l'incidence sur le service de radioastronomie  
des services spatiaux actifs ayant des attributions  
dans des bandes adjacentes voisines**

(2007)

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction .....	6
2 Méthode.....	6
2.1 Généralités .....	6
2.2 Description détaillée du diagramme de flux (voir Fig. 1) .....	9
3 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 150,05-153,0 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 137-138 MHz .....	19
3.1 Service de radioastronomie.....	19
3.2 SMS .....	20
3.3 Seuil de compatibilité .....	21
3.4 Evaluation du brouillage.....	21
3.5 Techniques de réduction des brouillages.....	28
4 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 322-328,6 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 387-390 MHz.....	29
4.1 Service de radioastronomie.....	29
4.2 Service mobile par satellite.....	31
4.3 Seuil de compatibilité .....	32
4.4 Evaluation des brouillages .....	33
4.5 Techniques de réduction des brouillages.....	37

---

\* La Syrie se réserve le droit de ne pas accepter les critères de protection proposés figurant dans le présent Rapport qui résulteraient de l'utilisation de bandes de fréquences attribuées au SFS, au SRNS, au SMS ou au SRS dans des bandes adjacentes à celles du service de radioastronomie.

\*\* Les Administrations des Etats arabes représentées à l'AR-03 ont indiqué qu'elles n'acceptaient pas le contenu de la Recommandation UIT-R RA.769, citée en référence dans le présent Rapport.

5	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 406,1-410 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 400,15-401 MHz.....	38
5.1	Service de radioastronomie.....	38
5.2	Service mobile par satellite.....	39
5.3	Seuil de comptabilité .....	40
5.4	Evaluation du brouillage.....	40
5.5	Techniques de réduction des brouillages.....	47
6	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 608-614 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) susceptibles de fonctionner dans la bande 620-790 MHz .....	48
6.1	Service de radioastronomie.....	48
6.2	Service de radiodiffusion par satellite .....	49
6.3	Seuil de compatibilité .....	52
6.4	Evaluation des brouillages.....	52
6.5	Techniques de réduction des brouillages.....	56
7	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes non OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz.....	57
7.1	Service de radioastronomie.....	57
7.2	Service mobile par satellite.....	61
7.3	Seuil de compatibilité .....	67
7.4	Evaluation du brouillage.....	67
7.5	Techniques de réduction des brouillages pour le service de radioastronomie....	74
7.6	Résultats des études .....	74
8	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 452-1 492 MHz.....	75
8.1	Service de radioastronomie.....	75
8.2	Service de radiodiffusion par satellite .....	78
8.3	Seuil de compatibilité .....	78
8.4	Evaluation du brouillage.....	78

8.5	Techniques de réduction des brouillages .....	81
8.6	Résultats des études .....	82
9	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz.....	83
9.1	Service de radioastronomie.....	83
9.2	Service mobile par satellite.....	85
9.3	Seuil de compatibilité .....	86
9.4	Evaluation du brouillage.....	86
9.5	Techniques de réduction des brouillages .....	87
9.6	Résultats des études .....	88
10	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz.....	88
10.1	Service de radioastronomie.....	88
10.2	Service de radionavigation par satellite.....	91
10.3	Seuil de compatibilité .....	103
10.4	Evaluation du brouillage.....	104
10.5	Techniques de réduction des brouillages .....	112
10.6	Résultats des études .....	114
11	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 613,8-1 626,5 MHz .....	114
11.1	Service de radioastronomie.....	114
11.2	Service mobile par satellite.....	116
11.3	Seuil de compatibilité .....	117
11.4	Evaluation du brouillage.....	117
11.5	Techniques de réduction des brouillages .....	118
11.6	Résultats des études .....	119
12	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz.....	120
12.1	Service de radioastronomie.....	120

12.2	Service mobile par satellite.....	122
12.3	Seuil de compatibilité .....	123
12.4	Evaluation du brouillage.....	123
12.5	Techniques de réduction des brouillages.....	124
12.6	Résultats des études .....	125
13	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 690-2 700 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite et du service fixe par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 655-2 690 MHz.....	125
13.1	Service de radioastronomie.....	125
13.2	Bande active.....	127
13.3	Seuil de compatibilité .....	128
13.4	Evaluation du brouillage.....	129
13.5	Techniques de réduction des brouillages.....	131
13.6	Résultats des études .....	133
14	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz et les systèmes du service fixe par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 10,7-10,95 GHz .....	133
14.1	Service de radioastronomie.....	133
14.2	Service fixe par satellite.....	135
14.3	Seuil de compatibilité .....	136
14.4	Evaluation du brouillage.....	136
14.5	Techniques de réduction des brouillages.....	143
14.6	Résultats des études .....	146
15	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 22,21-22,5 GHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 21,4-22 GHz .....	147
15.1	Service de radioastronomie.....	147
15.2	Service de radiodiffusion par satellite .....	149
15.3	Seuil de compatibilité .....	150
15.4	Evaluation du brouillage.....	150
15.5	Méthodes de réduction des brouillages.....	151
15.6	Résultats des études .....	152

*Page*

16	Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz et les systèmes du service fixe par satellite et du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 41,5-42,5 GHz .....	152
16.1	Service de radioastronomie.....	152
16.2	Service fixe par satellite et service de radiodiffusion par satellite .....	156
16.3	Seuil de compatibilité .....	158
16.4	Evaluation du brouillage.....	158
16.5	Techniques de réduction des brouillages.....	159
16.6	Résultats des études .....	163

## 1 Introduction

Le service de radioastronomie (passive), étudie les phénomènes naturels produisant des émissions radioélectriques à des fréquences régies par les lois de la nature.

Des attributions primaires ont été faites à divers services spatiaux dans le sens Terre vers espace comme le service fixe par satellite (SFS), le service de radionavigation par satellite (SRNS), le service mobile par satellite (SMS) et le service de radiodiffusion par satellite (SRS) dans des bandes adjacentes ou voisines de celles attribuées au service de radioastronomie.

Les études fournies dans le présent rapport technique constituent une méthode et un cadre permettant de regrouper les résultats de l'évaluation des brouillages entre les services actifs et le service de radioastronomie exploité dans des bandes adjacentes ou voisines. La méthode s'appuie sur le concept de puissance surfacique équivalente (epfd) pour le calcul des brouillages résultant des rayonnements non désirés provenant de systèmes à satellites non OSG.

La liste des bandes qui ont été prises en compte dans l'étude considérée est donnée dans le Tableau 1. Les résultats de ces études sont exposés dans les paragraphes qui suivent du présent rapport.

TABLEAU 1

### Liste des études de compatibilité avec le service de radioastronomie (passive)

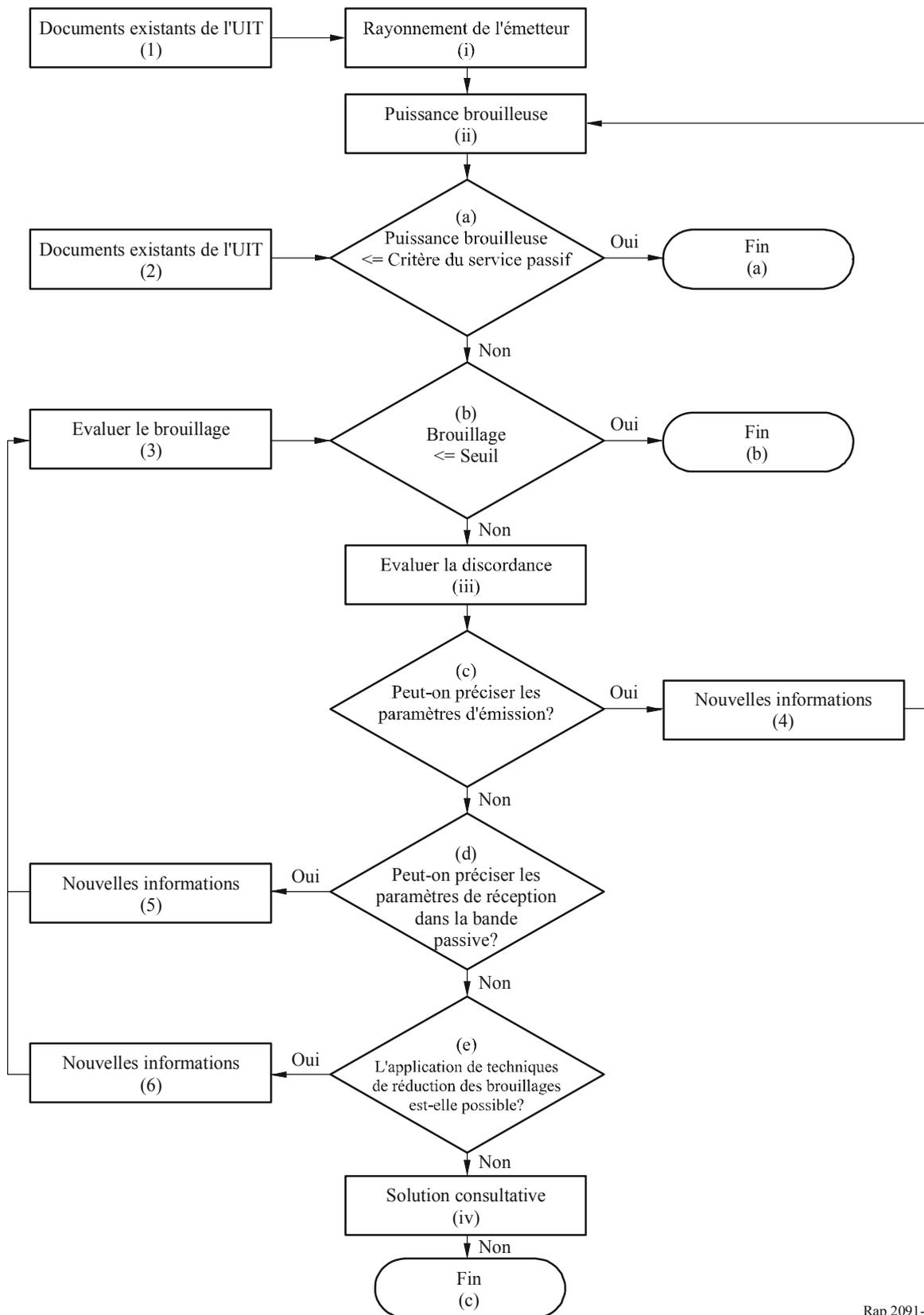
Bande attribuée au service de radioastronomie	Bande attribuée au service actif
150,05-153,0 MHz	137-138 MHz (SMS non OSG) <sub>↓</sub>
322-328,6 MHz	387-390 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
406,1-410 MHz	400,15-401 MHz (SMS non OSG) <sub>↓</sub>
608-614 MHz	620-790 MHz (SRS)
1 400-1 427 MHz	1 452-1 492 (SRS)
1 400-1 427 MHz	1 525-1 559 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 559-1 610 MHz (SRNS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS) <sub>↓</sub>
1 610,6-1 613,8 MHz	1 525-1 559 MHz (SMS non OSG) <sub>↓</sub>
2 690-2 700 MHz	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS) <sub>↓</sub>
10,6-10,7 GHz	10,7-10,95 GHz (SFS) <sub>↓</sub>
22,21-22,5 GHz	21,4-22 GHz (SRS)
42,5-43,5 GHz	41,5-42,5 GHz (SRS, SFS) <sub>↓</sub>

## 2 Méthode

### 2.1 Généralités

La méthode générale suivante définit des moyens systématiques pour calculer des critères de compatibilité mutuellement acceptables entre opérateurs exploitant des systèmes de services actifs et de services passifs dans les bandes qui leur ont été attribuées. Le diagramme de flux de la Fig. 1 résume la méthode, chaque étape étant décrite en détail au § 2.2 ci-après. La procédure étant itérative, plusieurs cycles peuvent être nécessaires avant qu'une solution ne soit trouvée.

FIGURE 1  
**Processus d'évaluation du fonctionnement des bandes adjacentes  
 et voisines attribuées aux services passifs et actifs**



La première étape consiste à déterminer les paramètres de transmission du service actif (boîte (i)). Le point de départ est le scénario le plus défavorable qui est utilisé pour déterminer si un brouillage gênant risque d'être causé aux services passifs par un quelconque des services actifs fonctionnant dans une bande adjacente ou proche. Ce cas le plus défavorable de niveau de puissance peut souvent être déterminé à partir des limites réglementaires existantes (boîte (1)), comme les limites de puissance surfacique qui figurent à l'Article 21 du RR. On doit alors utiliser ces limites réglementaires applicables à la puissance émise par le service actif pour déterminer le niveau des rayonnements non désirés dans la bande passive correspondant au cas le plus défavorable (boîte (ii)).

L'étape suivante consiste à déterminer si ce niveau de brouillage dans le cas le plus défavorable est supérieur au seuil de brouillage du service passif pour la bande considérée (losange (a)). Ces niveaux seuils sont donnés dans diverses Recommandations de l'UIT-R (boîte (2)) par exemple les Recommandations UIT-R RA.769, ou UIT-R SA.1029. Si ce seuil de brouillage est supérieur au niveau le plus défavorable de rayonnements non désirés dans la bande, il n'y a alors pas d'incidence négative sur le fonctionnement du service. Dans ce cas, la méthode suit la ligne «Oui» et le processus s'achève. A ce point, comme pour tous les autres points de terminaison de la méthode, les hypothèses utilisées pour arriver au point de terminaison forment la base technique d'un mode de fonctionnement compatible entre les services actifs et passifs concernés. La façon dont ces hypothèses techniques et les conclusions qui en découlent sont utilisées est un problème de nature réglementaire qui dépasse la portée technique de la présente Recommandation. Cependant, dans le cas du losange (a), si le brouillage est estimé être supérieur aux critères du service passif, il est alors nécessaire de suivre la branche «Non» vers le losange (b). A la première itération, aucune nouvelle information n'est disponible et le chemin continue vers la boîte (iii). Pour les itérations ultérieures, le seuil dans le losange (b) peut être différent des critères du service passif utilisés dans le losange (a) à la suite de paramètres modifiés ou supplémentaires et du partage des contraintes. Ces paramètres modifiés ou supplémentaires peuvent résulter des losanges (c), (d) ou (e). Le losange (b) permet d'estimer ultérieurement s'il y a compatibilité.

Si tel est le cas, le processus suit la branche «Oui», et la procédure s'achève. Si tel n'est pas le cas, la discordance doit être évaluée, au moyen de quoi, en rejoignant les losanges (c), (d) ou (e), les possibilités suivantes devraient être explorées:

- préciser les paramètres d'émission du service actif tels que les paramètres réels du système, la puissance primaire disponible, etc., et/ou;
- préciser les paramètres de réception dans la bande passive, et/ou;
- pousser plus loin les techniques de réduction des brouillages à la fois pour les services actifs et pour les services passifs, ce qui peut inclure aussi bien les possibilités a) et b).

Lorsque, durant l'évaluation des incompatibilités, comme indiqué dans la boîte (iii), il apparaît que les divergences entre les deux niveaux sont importantes, il est alors clair que les hypothèses utilisées dans la première itération sont insuffisantes pour résoudre le problème et qu'on doit faire des hypothèses plus détaillées sur les caractéristiques et le fonctionnement des deux services. Cependant, si la divergence est faible, on pourra peut-être modifier légèrement une des hypothèses de base pour arriver à une solution à l'itération suivante. Un examen des données dont on dispose peut indiquer quelles hypothèses supplémentaires pourraient être intéressantes.

A partir de ce constat, on peut envisager de modifier un ou plusieurs des paramètres du service actif, des paramètres du service passif, les critères de compatibilité ou les méthodes de réduction des brouillages possibles par itérations successives. Il faudra effectuer autant d'itérations que nécessaire pour résoudre complètement le problème, épuiser toutes les solutions possibles. Dans ce dernier cas, si aucun fonctionnement compatible ne paraît possible, la méthode s'achève alors sur une «solution consultative». Autrement dit, la seule solution possible est que l'opérateur d'un système actif donné prenne contact avec celui d'un système de service passif pour établir une

solution bilatérale, si cela est possible. Les modalités de telles solutions consultatives n'entrent pas dans le cadre de la présente Recommandation.

La présente méthode ne traite que des brouillages susceptibles d'être causés par un seul service actif fonctionnant dans la bande qui lui est attribuée. Etant donné que le SETS (passive) peut subir simultanément des brouillages de plusieurs services, il faudra peut-être tenir compte des effets cumulatifs de plusieurs services actifs.

## 2.2 Description détaillée du diagramme de flux (voir Fig. 1)

### 2.2.1 Boîte (1): Documents UIT existants

Cette boîte se rapporte aux documents qui peuvent être utiles pour déterminer les rayonnements émis. Les articles du RR, les Recommandations et les Rapports de l'UIT-R ci-après permettent de déterminer la puissance d'émission qui peut passer dans les bandes passives et sont fournis pour référence. Ces dispositions réglementaires et ces Recommandations serviront de point de départ pour évaluer les rayonnements non désirés d'un service actif qui pourraient passer dans les bandes d'un service passif.

### Règlement des radiocommunications

Articles 1, 5, 21, 22 et Appendice 3.

### Recommandations

UIT-R F.758:	Considérations relatives à la mise au point de critères de partage entre le service fixe de terre et les autres services
UIT-R F.1191:	Largeurs de bande et rayonnements non désirés des faisceaux hertziens numériques
UIT-R SM.326:	Détermination et mesure de la puissance des radio-émetteurs à modulation d'amplitude
UIT-R SM.328:	Spectre et largeur de bande des émissions
UIT-R SM.329:	Rayonnements non essentiels
UIT-R SM.1446:	Définition et mesure des produits d'intermodulation dans un émetteur utilisant des techniques de modulation de fréquence, de phase ou d'autres techniques de modulation complexe
UIT-R SM.1539:	Variation de la frontière entre le domaine des émissions hors bande et le domaine des rayonnements non essentiels dont il faut tenir compte dans l'application des Recommandations UIT-R SM.1541 et UIT-R SM.329
UIT-R SM.1540:	Rayonnements non désirés du domaine des émissions hors bande tombant dans les bandes adjacentes attribuées
UIT-R SM.1541:	Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

Il faudra peut-être d'autres données en plus de celles fournies par ces Recommandations, notamment:

- le coefficient d'utilisation des systèmes;
- la distribution géographique et les densités des émetteurs, y compris les densités de déploiement;
- l'orientation ou le balayage des antennes pour les systèmes de radiorepérage ou les émissions Terre vers espace;

- la couverture du faisceau pour les émissions espace vers Terre;
- les gabarits spectraux pertinents; et
- les diagrammes d'antenne.

Les données requises peuvent n'être pas toutes disponibles pour tous les éléments ci-dessus. Il faudra peut-être formuler des hypothèses pour certains paramètres. D'autres informations comme celles sur le déploiement peuvent nécessiter la construction de modèles de simulation.

### 2.2.2 Boîte (2): Documents UIT existants

Cette boîte se rapporte à des documents utiles pour choisir les critères du service passif appropriés pour assurer la protection contre les brouillages. Ces divers critères du service passif, dont chacun a été élaboré par le groupe de travail responsable des divers services passifs concernés, servent d'entrée du losange (a) sur le diagramme de flux. Ces Recommandations ont été élaborées au fil du temps pour aider d'autres groupes de travail s'occupant des services actifs à évaluer les brouillages que leurs services respectifs pourraient causer aux services passifs. La liste des Recommandations à prendre en considération est la suivante:

#### Recommandations

- UIT-R RA.769: Critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie
- UIT-R RA.1513: Niveaux de perte de données pour les observations de radioastronomie et critères de pourcentage de temps découlant des dégradations générées par les brouillages, dans le cas des bandes de fréquences attribuées à titre primaire au service de radioastronomie
- UIT-R SA.1028: Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite
- UIT-R SA.1029: Critères de brouillage applicables à la télédétection passive par satellite.

### 2.2.3 Boîte (3): Evaluation du brouillage

La fonction de cette boîte est de permettre au service passif de générer un nouveau critère de partage fondé sur les informations fournies à partir des boîtes (5) et (6). Par exemple, on pourrait prendre pour hypothèse des niveaux de lobes latéraux inférieurs à la valeur du gain de l'antenne de réception de 0 dBi que l'on prend habituellement comme hypothèse pour le service de radioastronomie. En pareil cas, le nouveau calcul du critère de partage se ferait dans la boîte (3).

Pour évaluer le brouillage causé par des systèmes SFS non OSG à des stations du service de radioastronomie, la méthode de la Recommandation UIT-R S.1586 devrait être utilisée. De même, pour évaluer le brouillage causé par des systèmes SMS et SRNS non OSG à des stations du service de radioastronomie, la méthode de la Recommandation UIT-R M.1583 devrait être utilisée.

### 2.2.4 Boîtes (4), (5) et (6): Informations nouvelles

La fonction de ces boîtes est de traiter, au cours des itérations multiples, les nouvelles informations introduites dans l'étude de partage. Par exemple, on pourrait utiliser les informations AP 4 soumises au Bureau des radiocommunications dans la boîte (4) pour justifier l'utilisation d'une puissance surfacique dans la bande inférieure à la valeur réglementaire. D'autres informations peuvent être des informations sur un filtre ou une antenne dans l'une des boîtes (4), (5) et (6) qui sont intégrés dans le processus afin de résoudre le problème. Il peut aussi s'agir de nouvelles données d'entrée qui n'avaient pas été prises en considération auparavant, telles que des Recommandations spécifiques de l'UIT-R, des recommandations ou des normes régionales. Des exemples pour les boîtes concernées sont donnés ci-après:

**Boîte (4)**

Aux fréquences élevées, les gabarits d'antenne d'émission peuvent avoir une ouverture de faisceau nettement plus étroite afin de maximiser la puissance dans une zone de service limitée et ainsi accroître le débit et s'affranchir des effets atmosphériques. Il s'ensuit que la plus grande partie de la surface de la Terre peut recevoir un niveau de puissance surfacique de rayonnements non désirés très inférieur au niveau gênant pour le service passif. Au lieu d'avoir un niveau applicable à la totalité de la surface terrestre, on pourra peut-être assouplir le niveau sur une fraction de celle-ci. La probabilité pour qu'une station du service de radioastronomie subisse des brouillages gênants venant d'une direction bien précise sera alors très faible.

Dans la bande 40,0-42,5 GHz, la Recommandation UIT-R S.1557 «Caractéristiques et prescriptions opérationnelles relatives aux systèmes du service fixe par satellite fonctionnant dans les bandes 50/40 GHz à utiliser pour les études de partage entre le service fixe par satellite et le service fixe» contient des paramètres qui peuvent être utilisés pour les études concernant cette bande.

**Boîte (5)**

Des caractéristiques telles que les diagrammes d'antenne de réception propres à chaque bande sont des caractéristiques qui pourraient être utilisées pour réduire la différence entre le niveau de brouillage gênant pour le service passif et le niveau reçu des rayonnements non désirés.

**Boîte (6)**

La Recommandation UIT-R SM.1542 expose de nombreuses méthodes de réduction des brouillages qui peuvent minimiser l'impact du service actif sur le service passif. Dans tout cas spécifique, seules certaines des méthodes de réduction des brouillages énumérées peuvent s'appliquer à la situation à traiter. Pour appliquer certaines méthodes de réduction des brouillages, il peut souvent être nécessaire de déterminer comment seront réparties les contraintes qui en résulteront.

**2.2.5 Boîte (i): Rayonnement de l'émetteur**

L'objet de cette boîte est d'établir la densité de puissance à l'émission dans la bande, à la bride de fixation de l'antenne.

**2.2.5.1 Cas général**

Généralement, la valeur s'exprime comme suit:

$$p_{\text{densité}} = p.i.r.e.\text{densité} - G_t \quad (1)$$

où:

$p_{\text{densité}}$ : densité de puissance d'émission fournie à l'antenne d'émission (dB(W/Hz))

$p.i.r.e.\text{densité}$ : densité de p.i.r.e. à l'émission (dB(W/Hz))

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

La densité de puissance d'émission peut aussi être calculée comme suit:

$$p_{\text{densité}} = 10\log(p_t) - OBO - 10\log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

où:

$p_t$ : puissance nominale maximum d'amplification d'émission (W)

$OBO$ : puissance de sortie vers l'arrière (dB)

$BW_{nb}$ : largeur de bande nécessaire (Hz)

$L_c$ : affaiblissement de circuit entre l'amplificateur d'émission et l'antenne d'émission (dB).

On notera dans l'équation (2) que la densité de puissance d'émission est supposée être uniformément répartie sur la largeur de bande nécessaire. Si cette hypothèse est erronée, on peut introduire une correction en modifiant la largeur de bande en conséquence.

### 2.2.5.2 Niveau de puissance émise dans la bande par un satellite sur la base du numéro 21.4 du RR

Calculer la densité de puissance d'émission à partir des limites de puissance surfacique, on a alors:

$$P_{densité} = pfd + 10\log(4\pi d^2) - G_t + L_c \quad (3)$$

où:

- pdf*: puissance surfacique sur la liaison descendante (dB(W/(m<sup>2</sup>/MHz)))
- d*: trajet oblique, du satellite à la station terrienne (km)
- G<sub>t</sub>*: gain d'antenne d'émission (dBi)
- L<sub>c</sub>*: affaiblissement de circuit entre l'amplificateur d'émission et l'antenne d'émission (dB).

Si on utilise ces valeurs, on obtiendra le plus haut niveau possible de rayonnement de l'émetteur, ce qui est irréaliste dans de nombreux cas. Cela tient au fait que divers facteurs comme la décroissance réelle de l'antenne d'émission et les formes d'onde spectrales ne sont pas pris en compte. En faisant les calculs ci-dessus, on devrait garder présent à l'esprit que le gain d'antenne d'émission dépend de chaque système et de ses applications. Généralement, le gain d'antenne d'émission de satellite varie comme suit:

- pour les systèmes non OSG du SMS, le gain varie entre 17 dBi et 31 dBi selon l'altitude du satellite, l'angle d'élévation;
- pour les systèmes OSG du SMS, le gain varie entre 41 dBi et 45 dBi;
- pour les gains d'antenne des satellites du SFS existants dans les bandes 4/6 GHz et 12/14 GHz, le gain varie entre 20 dBi et 42 dBi. Cependant, le gain d'antenne des futurs systèmes à satellites dans les bandes 4/6 GHz et 12/14 GHz pourra être sensiblement plus élevé que celui des systèmes existants; et
- pour les systèmes à satellites du SFS dans les bandes des 20/30 GHz et 40/50 GHz, le gain d'antenne d'émission se situe entre 44 dBi et 60 dBi.

### 2.2.5.3 Densité de puissance fondée sur la puissance RF totale de la station spatiale

Le calcul de la densité de p.i.r.e. d'émission dépend de la puissance RF d'émission totale d'un satellite, de l'affaiblissement des circuits entre un amplificateur de puissance d'émission et l'antenne d'émission, du gain de l'antenne d'émission, du schéma de réutilisation des fréquences, de la largeur de bande assignée, du nombre de faisceaux, etc. La densité de p.i.r.e. d'émission moyenne se calcule comme suit:

$$P_{densité} = 10\log(P_{total}) - 10\log(N_{beam}) - 10\log\left(\frac{BW_{as}}{N_{freq}}\right) - OBO \quad (4)$$

où:

- P<sub>total</sub>*: puissance d'émission RF totale (W)
- N<sub>beam</sub>*: nombre de faisceaux
- BW<sub>as</sub>*: largeur de bande assignée (Hz)  
Par exemple: 500 MHz pour la bande 4/6 GHz; 1 000 MHz pour la bande 12/14 GHz, etc.

$N_{freq}$ : schéma de réutilisation des fréquences

$OBO$ : puissance de sortie vers l'arrière (dB).

#### 2.2.5.4 Densité de puissance fondée sur les notifications de satellites à l'UIT

La densité de puissance d'émission des satellites peut être obtenue directement des notifications soumises au titre de l'Appendice 4 du RR.

#### 2.2.6 Boîte (ii): Puissance brouilleuse

L'objet de cette étape est de calculer le niveau des rayonnements non désirés reçu par le service passif sur la base de la puissance surfacique dans la bande déterminée dans la boîte (i). Les modalités d'évaluation varieront en fonction des caractéristiques du service d'émission et du service passif subissant le brouillage. Les brouillages que pourrait subir le service passif du fait des rayonnements non désirés du service actif pourront être calculés comme suit:

$$pfd_{(ray. non désirés)} = Pfd_{in-band\_active} - OoB - L \quad (5)$$

où:

$pfd_{(ray. non désirés)}$ : niveau de puissance surfacique sur les sites de réception du service de radioastronomie

$Pfd_{in-band\_active}$ : niveaux de puissance surfacique dans la bande des systèmes du service actif. Les limites maximales de puissance surfacique admissible indiquées dans le Tableau 21-4 peuvent être utilisées pour le calcul. Dans certains cas, il n'y a pas de limites de puissance surfacique sur la liaison descendante et on peut utiliser les limites maximales de puissance surfacique de la liaison descendante du système actif

$OoB$ : gabarit de rejet des émissions hors bande (par exemple, sur la base de la Recommandation UIT-R SM.1541 «Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande»)

$L$ : affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère et pertes par scintillement (Recommandation UIT-R P.676 «Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère»).

Le numéro 1.153 du RR et la Recommandation UIT-R SM.1541 suggèrent des méthodes pour déterminer les rayonnements des services actifs dans le domaine des émissions hors bande. Conformément à la Recommandation UIT-R SM.1541, la portée du domaine des émissions hors bande est déterminée par l'application de la Recommandation UIT-R SM.1539. La Recommandation UIT-R SM.329 est utilisée pour calculer les niveaux des rayonnements non désirés provenant des services actifs qui surviennent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

##### 2.2.6.1 Récepteur du service d'exploration de la Terre par satellite

Le SETS est vulnérable aux brouillages des émetteurs de Terre, y compris de simples émetteurs à haut niveau et des rayonnements cumulés des émetteurs à faible puissance déployés en très grand nombre. Les émetteurs spatioportés pourraient accentuer l'énergie que reçoit le détecteur via des réflexions par la Terre dans le faisceau principal de l'antenne, ou directement par le côté ou l'arrière de l'antenne.

Les données qui sont nécessaires pour évaluer la puissance résultante rayonnée par des systèmes actifs sur un récepteur du SETS incluent:

- le gain du système du SETS;
- les caractéristiques de pointage du système du SETS;

- l'altitude du système du SETS; et
- l'absorption atmosphérique.

#### 2.2.6.1.1 Densité géographique des émetteurs

Les systèmes déployés sur la surface de la terre sont essentiellement stationnaires pendant la période de mesure du détecteur. Le risque de brouillage s'accroît lorsque plusieurs émetteurs se trouvent dans le faisceau principal de l'antenne du détecteur. Les informations nécessaires à l'évaluation de la puissance reçue dans le pixel SETS, en provenance des systèmes actifs déployés, sont les suivantes:

- la taille du pixel SETS;
- le nombre de terminaux qui seront déployés dans la taille du pixel et qui utiliseront la même fréquence au même moment;
- une approximation du gain des systèmes de Terre en direction du satellite du SETS. La Recommandation UIT-R F.1245 donne un diagramme d'antenne pour les systèmes point à point du service fixe et la Recommandation UIT-R F.1336 donne les diagrammes de rayonnement de référence pour les systèmes point à multipoint. Dans la mesure où les terminaux du service fixe pointent dans une direction proche de l'horizon, la probabilité d'avoir un système du service fixe pointant directement dans le faisceau principal d'une antenne d'un satellite du SETS est très faible. Dans un premier temps, on peut faire une approximation du gain moyen des systèmes du service fixe dans la direction du satellite du SETS, valeur qui sera utilisée dans le calcul de la puissance cumulée reçue au satellite du SETS en prenant pour chacun des terminaux du service fixe un gain qui est le gain calculé pour un angle de 90° par rapport à l'axe principal.

Dans le cas de systèmes du service fixe, les paramètres suivants devraient être pris en considération:

- la disposition des canaux (si elle est connue) comme approche de première étape (examiner les canaux «les plus proches» de la bande SETS);
- la Recommandation UIT-R F.1191 dispose que pour les systèmes numériques du service fixe la largeur de bande nécessaire sera considérée comme identique à la largeur de bande occupée et que la puissance du service fixe en dehors de la largeur de bande occupée (limite inférieure et limite supérieure) ne devrait pas dépasser 0,5% de la puissance moyenne totale d'une émission donnée (numéro 1.153 du RR). Les valeurs de la puissance moyenne totale sont données dans la Recommandation UIT-R F.758.

#### 2.2.6.1.2 Emetteur pointant vers des détecteurs

Dans certains cas, tel ou tel émetteur pourrait brouiller des mesures alors que le détecteur se trouve dans le lobe principal de la station de Terre. Les informations nécessaires pour l'évaluation de la puissance reçue en provenance du système actif sont les suivantes:

- le gain de l'émetteur dans la direction du SETS; et
- le trajet de la liaison.

#### 2.2.6.1.3 Liaisons descendantes de satellite

Dans certains cas, le brouillage peut être causé par des signaux réfléchis depuis la surface de la Terre, qui peuvent entrer dans le faisceau principal de la station spatiale. Les informations nécessaires pour l'évaluation de la puissance reçue en provenance du système actif sont:

- le coefficient de réflexion du terrain ou de l'étendue d'eau; et
- le gain du système spatial dans la direction de la Terre;
- l'altitude du système spatial ou la puissance surfacique à la surface de la Terre.

## 2.2.6.2 Récepteur du service de radioastronomie

### 2.2.6.2.1 Rayonnements non désirés provenant du service fixe

On peut s'attendre à un risque de brouillage du service de radioastronomie par les systèmes HAPS (plate-forme à haute altitude). La Recommandation UIT-R SM.1542 n'a pas identifié d'autres problèmes liés à des sources terrestres de brouillage du service de radioastronomie.

### 2.2.6.2.2 Rayonnements non désirés provenant de systèmes spatiaux

La puissance brouilleuse que subit la station service de radioastronomie provient des liaisons descendantes de satellite aussi bien OSG que non OSG. Dans le premier cas, le brouillage ne variera généralement pas avec le lieu et le temps. Dans le second cas, la puissance brouilleuse variera à la fois avec le temps et l'emplacement dans le ciel. En conséquence, les deux cas sont traités séparément.

#### 2.2.6.2.2.1 Rayonnements non désirés de systèmes à satellites OSG (liaison descendante)

La puissance surfacique des rayonnements non désirés peut être établie comme suit:

$$pfd_{\text{rayonnements non désirés}} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (6)$$

où:

$pfd_{\text{ray. non désirés}}$ : puissance surfacique au niveau de la station du service de radioastronomie ( $\text{W/m}^2$ )

$f_1, f_2$ : bords respectivement supérieur et inférieur de la bande du récepteur du service de radioastronomie (Hz)

$p(f)$ : densité de puissance des rayonnements non désirés à la bride de fixation de l'antenne d'émission (W/Hz)

$g(f)$ : gain de l'antenne d'émission dans la direction du site de radioastronomie

$SL$ : affaiblissement d'étalement ( $\text{m}^2$ )

$ATM(f)$ : absorption atmosphérique dans la bande  $f_1 - f_2$  en fonction de la fréquence.

On notera que la densité de puissance du signal émis, le gain du sous-système d'antenne et l'absorption atmosphérique varient avec la fréquence et, comme tels, sont représentés comme des fonctions de la fréquence. La puissance surfacique des rayonnements non désirés sur le site de la station du service de radioastronomie est l'intégrale de ces fonctions, comme indiqué ci-dessus, sur la fréquence de la bande passante du récepteur. Dans les cas où la puissance surfacique des rayonnements non désirés, le gain d'antenne et l'absorption atmosphérique sont constants sur toute la largeur de bande du récepteur du service passif, on peut simplifier la fonction comme suit:

$$pfd_{\text{rayonnements non désirés}} = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} (f_2 - f_1) \quad (7)$$

Dans les cas où la bande active est adjacente à la bande passive, on peut supposer que le gain de l'antenne d'émission reste à peu près constant dans la bande d'émission et dans la bande passive. Cependant cela peut souvent n'être pas le cas, en particulier lorsque la bande passive est au-dessous de la fréquence de coupure du réseau d'alimentation du guide d'onde dans le sous-système d'antenne.

#### **2.2.6.2.2 Rayonnements non désirés de systèmes à satellites non OSG (liaison descendante)**

Pour évaluer les brouillages causés par des systèmes non OSG du SFS à des stations du service de radioastronomie, il convient d'utiliser la méthode de la Recommandation UIT-R S.1586. De même, pour évaluer les brouillages causés par des systèmes non OSG du SMS ou du SRNS à des stations du service de radioastronomie, il convient d'utiliser la méthode de la Recommandation UIT-R M.1583.

#### **2.2.7 Boîte (iii): Estimation de discordance**

L'objet de cette boîte est d'examiner les données d'entrée et d'évaluer la discordance avant de procéder à une autre itération. Si on est arrivé à cette boîte, c'est que le brouillage subi est supérieur au niveau seuil; en d'autres termes, il faut procéder à des changements lors de l'itération suivante pour réduire l'écart entre les deux valeurs.

Dans les premières itérations de la boucle, l'accent devrait être mis sur l'amélioration de la précision de l'évaluation du brouillage subi par le service passif. Comme les études de partage préliminaires comportent des hypothèses grossières en ce qui concerne les deux systèmes, ces hypothèses devront être précisées de façon à pouvoir évaluer correctement le brouillage potentiel. Des descriptions plus précises du système et des méthodes de calcul plus fines nécessiteront peut-être des calculs plus complexes, mais feront peut-être apparaître qu'en fin de compte les risques de brouillage sont beaucoup plus faibles que ce qu'indiquaient des hypothèses plus grossières.

Une fois que l'étude est jugée suffisamment précise et qu'il existe toujours un écart, l'une ou les deux parties devront apporter des restrictions pour régler le problème. Il pourra s'agir de restrictions de fonctionnement, de changements de caractéristiques des équipements ou de modifications des critères de partage.

Une fois que les zones de changement possible ont été identifiées dans cette boîte au cours de l'itération suivante, la boîte de décision appropriée va effectuer la modification et conduira à une nouvelle estimation du brouillage.

#### **2.2.8 Boîte (iv): Solution consultative**

Après plusieurs itérations, il peut encore exister une discordance entre le service actif et le service passif. Si on ne peut faire aucune autre modification des paramètres du système, des critères ou des méthodes de réduction des brouillages aucune solution générale ne permet à tous les utilisateurs de la bande active de la partager avec tous les utilisateurs du service passif. La seule solution restante qui peut alors être envisagée est que les utilisateurs de sous-ensembles de la bande active ou de la bande passive discutent pour tenter de parvenir à un accord. Par exemple, dans le cas de deux bandes adjacentes, il se peut qu'il ne soit pas possible de trouver une solution entre les systèmes du SFS et ceux du service de radioastronomie, mais une solution peut être trouvée entre le SFS non OSG et le service de radioastronomie.

La méthode de la Fig. 1 peut se révéler utile pour engager des discussions entre les sous-ensembles d'opérateurs partageant la bande.

Cependant, si des groupes de consultation restreints ne peuvent parvenir à un accord, la méthode trouve alors ses limites sans que le problème soit résolu. Les progrès issus des itérations de la méthode ont peut-être été utiles pour réduire le désaccord et ont fait apparaître de nouveaux domaines d'étude. Ils peuvent aussi servir de point de départ à plusieurs solutions parmi lesquelles les régulateurs devront choisir.

### **2.2.9 Losange (a): Puissance brouilleuse $\leq$ critères de service passif**

La puissance brouilleuse évaluée dans la boîte (ii) est comparée aux critères appropriés de protection du service passif indiqués dans la boîte (2). Si le brouillage est supérieur au niveau gênant, la méthode conduit au losange de décision (b). Cette méthode s'achève si le brouillage est inférieur ou égal à ces critères.

#### **2.2.10 Losange (b): Puissance brouilleuse $\leq$ seuil**

Au cours des itérations ultérieures, le seuil du losange (b) peut indiquer que les modalités de fonctionnement permettant de protéger de façon adéquate le service passif tout en minimisant les restrictions subies par le service actif sont possibles. Les paramètres utilisés peuvent résulter des procédures des losanges (c), (d) ou (e). Les contraintes résultant de cette disposition devraient être réparties équitablement entre les deux services. Dans le cas de plusieurs services actifs brouilleurs, la procédure d'itération devrait être suivie pour chaque service, pouvant résulter en des modalités de fonctionnement différentes pour chacun des services. Le principe directeur est que les contraintes qui pèsent sur tous les services impliqués ne devraient pas empêcher chacun de ces services de fonctionner efficacement.

#### **2.2.11 Losange (c): Les paramètres d'émission peuvent-ils être précisés?**

Après l'examen fait dans la boîte (iii), on modifiera peut-être les paramètres d'émission du service actif. Par exemple, les limites réglementaires utilisées comme niveaux inférieurs, qui sont plus représentatives de la situation considérée, peuvent remplacer les hypothèses du cas le plus défavorable pour les futurs systèmes prévus. Ces hypothèses modifiées peuvent alors être prises en compte dans les itérations suivantes.

#### **2.2.12 Losange (d): Peut-on affiner les paramètres de réception dans la bande passive?**

Après l'examen fait dans la boîte (iii), on modifiera peut-être les paramètres de réception du service passif. Par exemple, des diagrammes d'antenne réels peuvent être utilisés au lieu de diagrammes plus prudents. Ces hypothèses modifiées peuvent alors être prises en compte dans les itérations suivantes.

#### **2.2.13 Losange (e): L'application de techniques de réduction des brouillages est-elle réalisable?**

Lorsqu'on ne peut plus aller plus loin dans la précision des paramètres du service actif et du service passif et qu'il reste encore un écart entre le brouillage et le seuil de partage, les méthodes de réduction des brouillages peuvent alors être envisagées pour réduire l'écart. Trois méthodes possibles sont examinées dans le présent paragraphe, quoiqu'il en existe d'autres (par exemple, la liste de l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R SM.1542).

##### **2.2.13.1 Système actif**

###### **2.2.13.1.1 Filtrage par le système actif**

Une méthode pour bien protéger les services passifs consiste à introduire un filtrage supplémentaire dans la chaîne RF de l'émetteur afin de réduire le niveau des rayonnements non désirés. Dans certains cas, la contrainte imposée peut être minimale car l'architecture de l'émetteur permet l'insertion d'un filtre ou l'amélioration d'un filtre existant. Cependant, dans d'autres cas, l'utilisation de filtres peut être subordonnée à des considérations de coût, de poids et/ou de réduction de capacité.

### 2.2.13.1.2 Utilisation d'une bande de garde

Une méthode pour réduire le niveau des rayonnements non désirés de l'émetteur du service actif dans la bande passive consiste à prévoir une bande de garde. La bande de garde permet de réduire la puissance de brouillage que subit l'opérateur du service passif. Bien qu'elle puisse être efficace lorsque les deux systèmes partagent des bandes adjacentes, cette solution peut avoir un intérêt limité lorsque l'espacement entre les bandes est important, car la largeur de bande supplémentaire peut ne pas apporter d'amélioration importante à l'atténuation par le filtrage. De plus, l'insertion d'une bande de garde réduit la largeur de bande disponible pour l'un ou l'autre service ou les deux.

Il convient d'effectuer les calculs suivants pour évaluer l'incidence d'une bande de garde. La puissance brouilleuse (W) reçue par le service passif est la suivante:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g_1(f) \cdot g_2(f) \cdot |h(f)|^2}{FSL \cdot ATM(f)} df \quad (8)$$

où:

- $I$ : puissance brouilleuse reçue par le récepteur du service passif dans sa largeur de bande de réception ( $W/m^2$ )
- $f_1, f_2$ : bords respectivement inférieur et supérieur de la bande du récepteur du service passif (Hz)
- $p(f)$ : densité de puissance des rayonnements non désirés en fonction de la fréquence à la bride de fixation de l'antenne d'émission (W/Hz)
- $g_1(f)$ : gain de l'antenne d'émission en fonction de la fréquence, dans la direction de l'antenne du service passif
- $g_2(f)$ : gain de l'antenne du service passif en fonction de la fréquence, dans la direction de l'antenne d'émission
- $FSL$ : affaiblissement en espace libre (m<sup>2</sup>)
- $ATM(f)$ : absorption atmosphérique dans la bande en fonction de la fréquence
- $h(f)$ : caractéristiques de transfert des filtres de réception du service passif en fonction de la fréquence.

L'utilisation d'une bande de garde entraîne un glissement des courbes aussi bien du récepteur que de l'émetteur. A la suite du décalage de fréquence, certaines des courbes peuvent changer de forme pour s'adapter à la largeur de bande disponible.

### 2.2.13.1.3 Utilisation de l'isolement géographique

Une autre méthode pour éviter des brouillages gênants consiste à s'assurer que la station terrienne du service passif est suffisamment éloignée de l'axe de visée de l'émetteur du service actif. Si les stations terriennes du service passif sont situées dans des zones qui sont éloignées de la zone de service des stations spatiales, le brouillage est alors minimisé. De plus, si les stations terriennes du service passif sont peu nombreuses et si leurs positions sont bien connues, il devrait alors être possible au concepteur des stations spatiales de positionner les faisceaux de façon à éviter les stations terriennes du service passif.

### 2.2.13.2 Système passif

Voir la Recommandation UIT-R SM.1542.

### 2.2.14 Cercles finaux (a), (b), (c)

*Extrémité (a)*: La méthode se terminant à ce point a permis d'établir qu'il y a compatibilité entre les paramètres initiaux du service passif et les paramètres initiaux ou précisés du service actif. Un

résultat possible à ce point est qu'aucune modification n'était nécessaire et que les paramètres initiaux analysés représentent des systèmes compatibles.

*Extrémité (b)*: La méthode se terminant à ce point a permis d'établir qu'il y a compatibilité entre les paramètres initiaux du service passif et les paramètres initiaux ou précisés du service actif, ou grâce à l'application d'autres techniques de réduction des brouillages.

*Extrémité (c)*: La méthode se terminant à ce point a permis d'établir qu'il ne peut y avoir compatibilité avec les paramètres initiaux ou précisés de chaque service. Il faut que les administrations responsables des systèmes concernés engagent des négociations au sujet de ces systèmes.

### **3 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 150,05-153,0 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 137-138 MHz**

#### **3.1 Service de radioastronomie**

##### **3.1.1 Bande attribuée**

La bande 150,05-153,0 MHz est attribuée à titre primaire au service fixe, au service mobile (sauf mobile aéronautique) et au service de radioastronomie dans la Région 1. Conformément au numéro 5.225 du RR, cette bande est, de plus, attribuée au service de radioastronomie à titre primaire en Australie et en Inde.

Aux termes du numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables.

##### **3.1.2 Type d'observations**

Cette bande est utilisée pour les observations (large bande) du continuum.

Il faut disposer des fréquences nécessaires pour pouvoir faire des observations en continuum des radiosources cosmiques. Compte tenu de l'espacement d'une octave nécessaire pour assurer cette couverture, ces fréquences sont situées entre 73 et 74,6 MHz et entre 22 et 328,6 MHz, bandes qui sont aussi utilisées à cette fin par le service de radioastronomie. Ces bandes sont également utilisées pour les observations du soleil et des émissions rapides et périodiques des pulsars.

##### **3.1.3 Critères de protection requis**

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Il s'agit de seuils au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées, et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses faites dans la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, performances de l'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans cette Recommandation, l'accroissement du temps d'observation ne permettra plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera alors incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

Pour les observations du continuum, on utilise généralement la totalité des 2,95 MHz de la bande 150,05-153,0 MHz. Le seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant pour des observations avec une seule antenne parabolique est de  $-194$  dB(W/m<sup>2</sup>).

### 3.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

En général, les observations du continuum sont faites de façon différentielle: la zone du ciel contenant la radiosource cosmique peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait ou bien on peut aussi mesurer la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, le rayonnement provenant de la source est dissocié d'autres contributions à la sortie du récepteur.

## 3.2 SMS

### 3.2.1 Bande d'émission attribuée

Les bandes 137-137,025 MHz et 137,175-137,825 MHz sont attribuées au SMS (espace vers Terre) à titre primaire dans toutes les régions. Les bandes 137,025-137,175 MHz et 137,825-138 MHz sont attribuées au SMS à titre secondaire dans toutes les régions.

Les numéros 5.208A et 5.209 du RR s'appliquent au SMS dans cette bande.

Le numéro 5.208A dispose que: «En assignant des fréquences aux stations spatiales du service mobile par satellite dans les bandes 137-138 MHz, 387-390 MHz et 400,15-401 MHz, les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie dans les bandes 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz et 608-614 MHz contre les brouillages préjudiciables dus à des rayonnements non désirés. Les seuils de brouillages préjudiciables pour le service de radioastronomie sont indiqués dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RA.769-1.(CMR-97)»

Le numéro 5.209 dispose que: «L'utilisation des bandes 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz, 400,15-401 MHz, 454-456 MHz et 459-460 MHz par le service mobile par satellite est limitée aux systèmes à satellites non géostationnaires.(CMR-97)»

### 3.2.2 Application

Les systèmes non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz peuvent acheminer des paquets de données numériques à de faibles débits (2,8 à 19,2 kbit/s). Ces systèmes assurent des communications de données hertziennes de grande qualité. Compte tenu des basses fréquences (au-dessous de 1 GHz) et de l'orbite terrestre basse utilisées, la puissance des stations terriennes et des satellites est faible et par conséquent le coût de mise en œuvre des systèmes est modique. Les réseaux sont conçus pour pouvoir desservir la totalité ou la plus grande partie de la planète (certains systèmes ne couvrent pas intégralement les régions polaires). En règle générale, les systèmes du SMS fonctionnent quasiment en temps réel, mode dans lequel le même satellite couvre à la fois la station d'utilisateur et la station de liaison de connexion. Ces systèmes peuvent toutefois fonctionner en mode enregistrement et retransmission dans lequel la station d'utilisateur et la station de liaison de connexion ne se trouvent pas dans l'empreinte du même satellite, c'est-à-dire lorsqu'un utilisateur se trouve dans une zone océanique dégagée. Dans ce mode de fonctionnement, les systèmes accusent un retard qui peut aller de quelques secondes à quelques heures en fonction du moment du passage suivant du satellite au-dessus de la station de liaison de connexion.

### 3.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Aune limite stricte ne s'applique au SMS dans cette bande.

### 3.2.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques techniques et de fonctionnement de quatre systèmes non OSG du SMS exploités ou qu'il est prévu d'exploiter dans la bande pour assurer les liaisons descendantes de service ou de passerelle sont décrites dans la Recommandation UIT-R M.1184. Il s'agit des systèmes L, M, P et Q. Les caractéristiques orbitales du système Q réel sont différentes de celles données dans cette Recommandation. Les caractéristiques réelles sont données dans le Tableau 2 avec celles des systèmes L, M et P.

TABLEAU 2

#### Paramètres orbitaux des réseaux non OSG du SMS au-dessous de 1 GHz

Système	L	M			P	Q	
Nombre de satellites	48				6	26	
Altitude (km)	950	825		775	893	1 000	
Inclinaison (degrés)	50	45	0	70, 108	99	66	83
Plans orbitaux	8	3	1	2	2	4	2
Satellite/plan	6	8			3	6	1
Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9,8	0, 90, 180, 270	0, 90
Puissance d'émission sur la liaison descendante (W)	25	18,2			1	32	
p.i.r.e. sur la liaison descendante (dBW)	19,7	13,6			3,8	17,8	
Largeur de bande nécessaire (kHz)	25	25			855	25	
Puissance surfacique dans la bande du SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-115			-126	-113	

### 3.3 Seuil de compatibilité

Dans le cas de constellations de satellites non OSG, un niveau de puissance surfacique équivalente (epfd) de  $-238$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) peut être calculé pour la bande 150,05-153 MHz à partir du niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant pour les observations de radioastronomie donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain maximal de l'antenne de radioastronomie donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, c'est-à-dire 44 dBi pour la bande de fréquence considérée.

### 3.4 Evaluation du brouillage

#### 3.4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R M.1583 donne une méthode permettant d'évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système non OSG sur des sites de radioastronomie. Cette méthode est basée sur une division du ciel en cellules d'angles solides à peu près égaux et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation de satellites sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une

moyenne du niveau des rayonnements non désirés (exprimée sous forme de puissance epfd) est établie sur une période de 2 000 s.

Les caractéristiques choisies pour la station de radioastronomie correspondent à celles du radiotélescope d'Effelsberg en Allemagne qui fait des observations dans la bande considérée avec une antenne de 100 m de diamètre et présentant un gain maximum d'environ 44 dBi. Le diagramme de rayonnement et le gain maximal de l'antenne sont ceux donnés dans la Recommandation UIT-R RA.1631.

Les coordonnées géographiques de la station d'Effelsberg sont les suivantes:

Latitude: 50,7° N    Longitude: 7,0° E

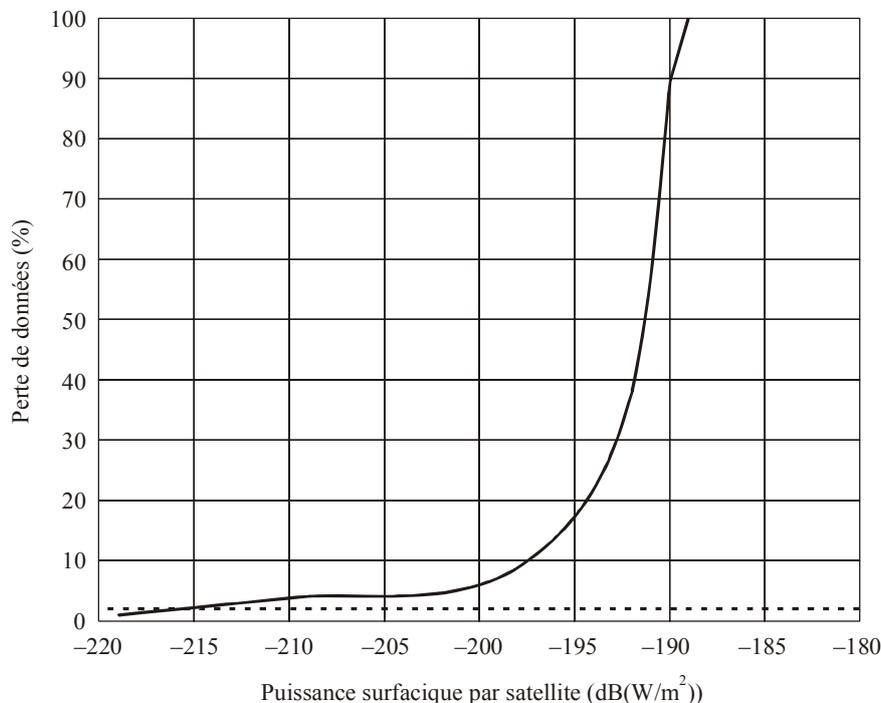
Les simulations ont été réalisées avec un angle d'élévation de l'antenne de radioastronomie de 0° afin d'obtenir des résultats complètement généraux.

### 3.4.2 Calcul du niveau des brouillages

#### 3.4.2.1 Système L du SMS

La Fig. 2 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil d'epfd est dépassé sur le site de radioastronomie pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée (comme on l'explique dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

FIGURE 2  
Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système L du SMS



Rap 2091-02

Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système L du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de -216 dB(W/m<sup>2</sup>) dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 3 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-216 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé.

Dans les Fig. 3, 5, 7 et 9, l'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut croît d'ouest en est.

### 3.4.2.2 Système M du SMS

La Fig. 4 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé sur le site de radioastronomie pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système M du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 5 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé.

FIGURE 3  
Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-216 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système L du SMS

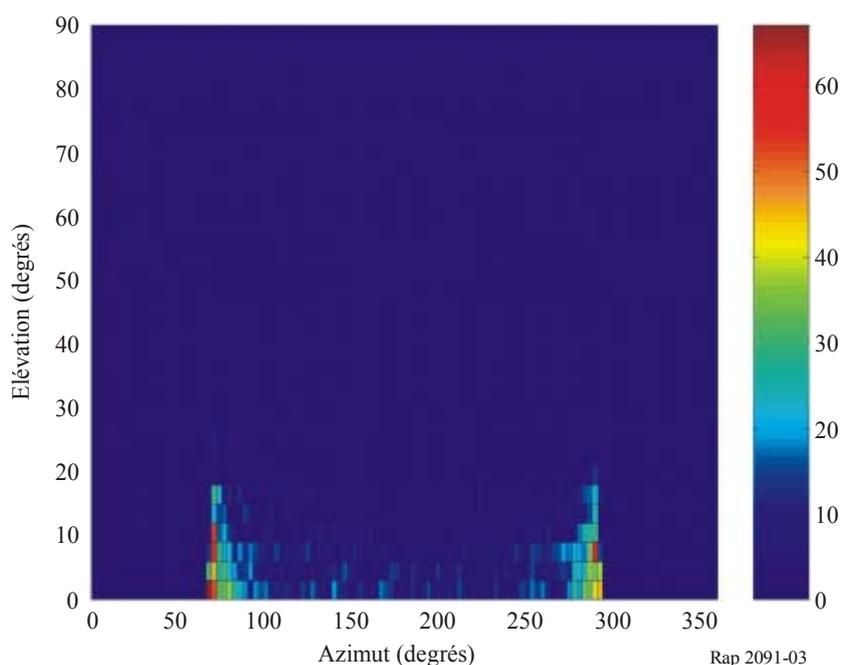


FIGURE 4

**Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système M du SMS**

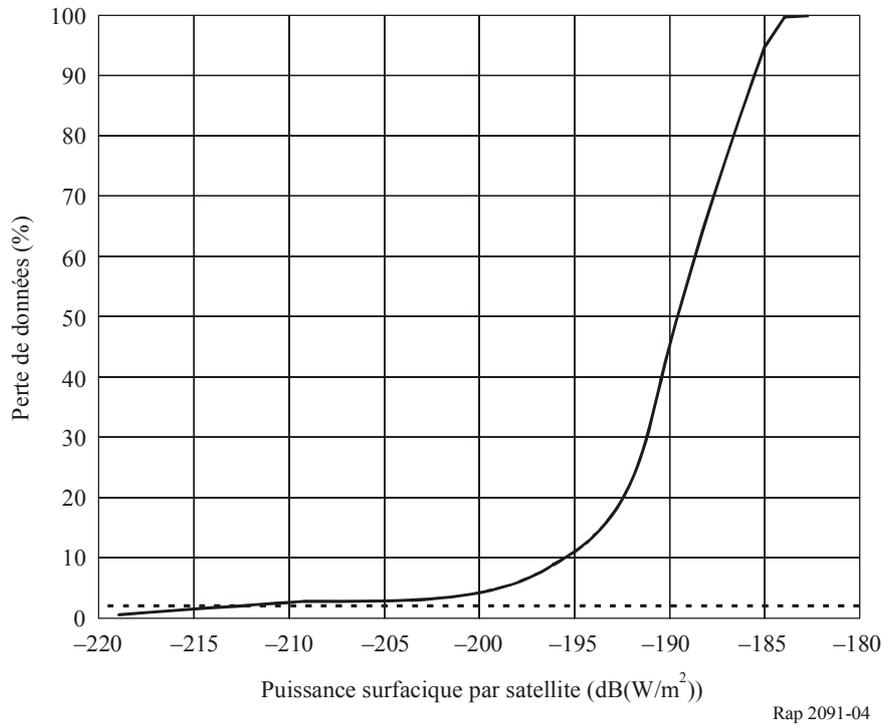
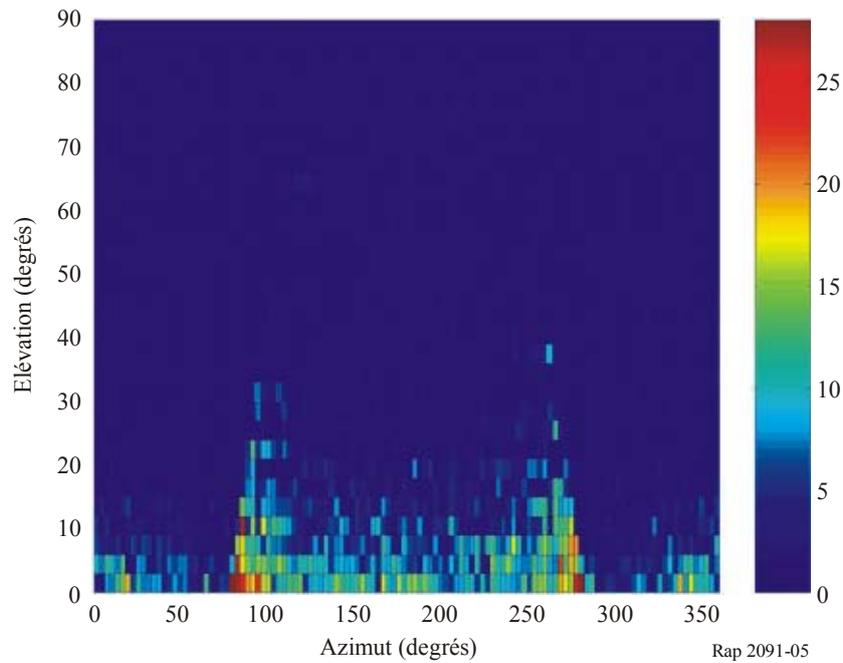


FIGURE 5

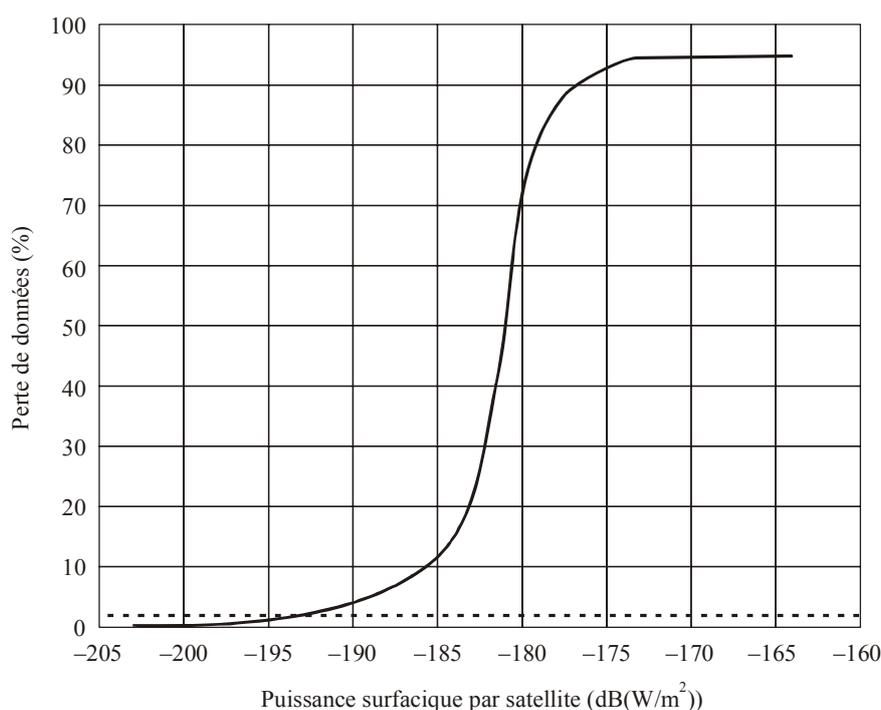
**Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système M du SMS**



### 3.4.2.3 Système P du SMS

La Fig. 6 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

FIGURE 6  
Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système P du SMS



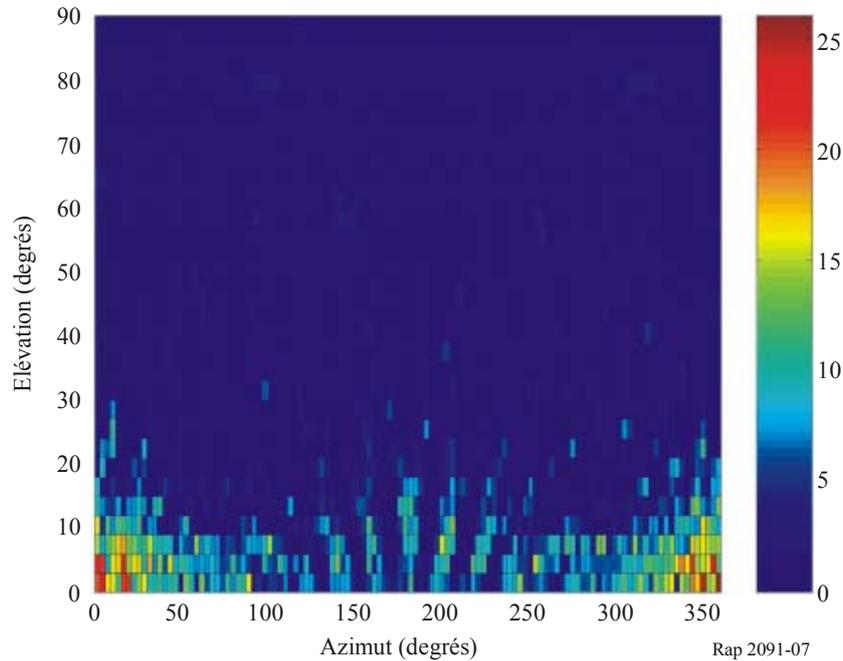
Rap 2091-06

Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système P du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 7 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé.

FIGURE 7

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-193 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système P du SMS



#### 3.4.2.4 Système Q du SMS

La Fig. 8 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance  $\text{epfd}$  est dépassé sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

Pour que le niveau seuil de puissance  $\text{epfd}$  soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système Q du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 9 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance  $\text{epfd}$  est dépassé.

FIGURE 8

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système Q du SMS

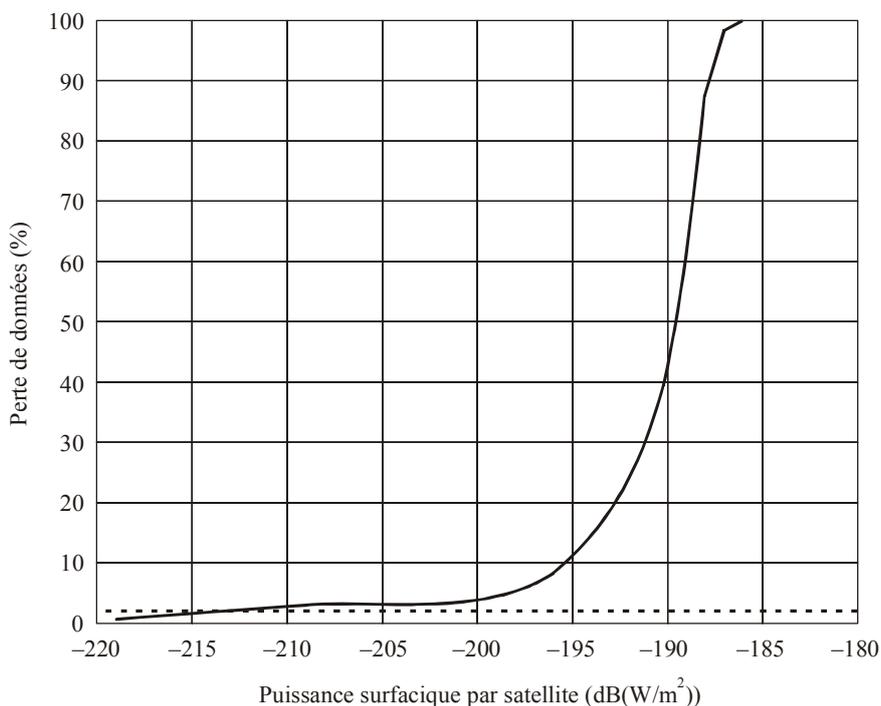
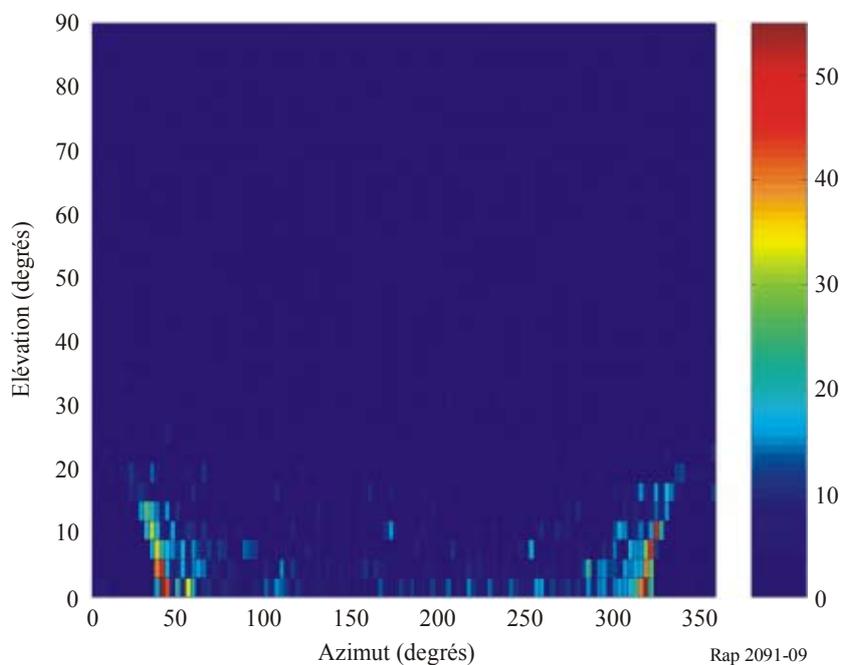


FIGURE 9

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-212 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie d'Effelsberg pour le système Q du SMS



### 3.4.3 Valeurs obtenues

Les rayonnements non désirés des satellites non OSG du SMS utilisant la bande 137-138 MHz qui passent dans la bande 150,05-153 MHz du service de radioastronomie tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

Le Tableau 3 indique, pour chacun des quatre systèmes non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz, l'affaiblissement nécessaire pour que le niveau seuil de puissance *epfd* gênant ne soit pas dépassé.

TABLEAU 3

#### Affaiblissement des réseaux non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz nécessaire pour atteindre le niveau de puissance *epfd* gênant

Systeme	L	M	P	Q
Puissance d'émission dans la bande du SMS (W)	25	18,2	1	32
Puissance surfacique dans la bande du SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-115	-126	-113
43 + 10 × log (P)	57	56	43	58
Affaiblissement des rayonnements non essentiels, Appendice 3 (dBc, dans une largeur de bande de 4 kHz)	57	56	43	58
Niveau des rayonnements non essentiels, Appendice 3, (dB(W dans une largeur de bande de 4 kHz))	-43	-43	-43	-43
Niveau des rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie (dBW)	-14,3	-14,3	-14,3	-14,3
Puissance surfacique des rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-139	-142	-140,3	-143
Puissance surfacique requise dans la bande passive (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-216	-212	-193	-213
Affaiblissement nécessaire (dB)	77	70	52,7	70

Il est à noter que pour calculer la quantité totale de rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie, on a considéré que le niveau des rayonnements non essentiels est constant dans l'ensemble de cette bande. Cette hypothèse très stricte n'est manifestement pas réaliste étant donné que les rayonnements non essentiels s'observent généralement à des fréquences discrètes. Par conséquent, il faut procéder à d'autres travaux tenant compte de cette composante discrète des rayonnements non essentiels pour obtenir des valeurs plus réalistes des niveaux des rayonnements non désirés du SMS dans la bande de radioastronomie.

## 3.5 Techniques de réduction des brouillages

### 3.5.1 Service de radioastronomie

On peut envisager d'utiliser diverses méthodes, dont celles décrites ci-après, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* l'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est généralement optimisé pour le rapport *G/T*, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour des sources ponctuelles. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le

gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence*: cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque les brouillages dans la bande de radioastronomie peuvent être identifiés intégralement et sans ambiguïté en temps et/ou fréquence.

### **3.5.2 Impact potentiel pour le service de radioastronomie**

*Performance des lobes latéraux de l'antenne*: les tentatives de diminution de la sensibilité de l'antenne de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant de stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie aux rayonnements du sol et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront ainsi à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence*: la suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs dans leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration totale requis pour faire l'observation, ce qui équivaut à une perte de capacité en canaux du télescope.

## **4 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 322-328,6 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 387-390 MHz**

### **4.1 Service de radioastronomie**

#### **4.1.1 Bande attribuée**

La bande 322-328,6 MHz est attribuée à titre primaire au service fixe, au service mobile (sauf mobile aéronautique) et au service de radioastronomie.

Conformément au numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toute les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables.

#### **4.1.2 Type d'observations**

Cette bande est utilisée pour les observations (large bande) du continuum et pour les observations (à bande étroite) des raies spectrales avec une seule antenne parabolique ou en mode VLBI (interférométrie à très grande base).

Il faut disposer des fréquences nécessaires pour pouvoir faire des observations en continuum des radiosources cosmiques. Compte tenu de l'espacement d'une octave nécessaire pour assurer cette couverture, ces fréquences sont situées entre 150,5 et 153 MHz et entre 608 et 614 MHz, bandes qui sont aussi utilisées à cette fin par le service de radioastronomie.

La bande contient une raie spectrale atomique importante: la raie à structure hyperfine du deutérium à 327,4 MHz qui a été découverte récemment (mai 2005). L'abondance du deutérium par rapport à l'hydrogène est directement liée aux problèmes de l'origine de l'univers et de la synthèse des éléments. La mesure de l'abondance du deutérium ou la détermination d'une limite supérieure basse aidera à «délimiter» la théorie cosmologique.

La bande est également utilisée pour les observations de l'émission très décalée vers le rouge de la raie spectrale à 1 420,4 MHz de l'hydrogène neutre atomique (HI). Cette raie est la raie spectrale la plus couramment observée dans les galaxies proches. Des observations dans la

gamme 322-328,6 MHz permettent d'enquêter sur l'ère de formation des galaxies et des grandes structures de l'univers et aideront donc à «délimiter» la théorie cosmologique.

#### 4.1.3 Critères de protection requis

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769. Il s'agit de seuils au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation. Mais alors, la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses faites dans la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, performances de l'antenne), est 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans cette Recommandation, l'accroissement du temps d'observation ne permettra plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera alors incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

La bande 322-328,6 MHz est utilisée à la fois pour les observations du continuum et les observations des raies spectrales. Dans le cas d'observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité des 6,6 MHz de la bande, auquel cas le seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-189$  dB(W/m<sup>2</sup>). Dans le cas d'observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique, le niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-204$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 10 kHz. Les observations VLBI, dans lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins sensibles aux brouillages, ce qui atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-147$  dB(W/m<sup>2</sup>) sur toute la largeur de bande de 6,6 MHz.

#### 4.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

En général, les observations sont faites de façon différentielle.

Dans le cas d'observations du continuum, la zone du ciel contenant la radiosource cosmique peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait ou bien on peut aussi mesurer la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, le rayonnement provenant de la source est dissocié d'autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les émissions de raies présentant un intérêt (spectres de raies) puis à une fréquence qui est décalée par rapport à la fréquence des émissions de raies ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et d'autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Les observations de raies spectrales se font à l'aide de spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (généralement jusqu'à 8 192) canaux de fréquence répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par les objets cosmiques dans le faisceau de l'antenne.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base, les signaux sont numérisés sans redressement et enregistrés sur bande magnétique ou sur d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de

traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## **4.2 Service mobile par satellite**

### **4.2.1 Bande d'émission attribuée**

La bande 387-390 MHz est attribuée au service mobile par satellite (espace vers Terre) à titre secondaire dans toutes les régions.

Les numéros 5.208A et 5.255 du RR s'appliquent au SMS dans cette bande.

Le numéro 5.208A du RR dispose que: «En assignant des fréquences aux stations spatiales du service mobile par satellite dans les bandes 137-138 MHz, 387-390 MHz et 400,15-401 MHz, les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie dans les bandes 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz et 608-614 MHz contre les brouillages préjudiciables dus à des rayonnements non désirés. Les seuils de brouillages préjudiciables pour le service de radioastronomie sont indiqués dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RA.769-1.(CMR-97)».

Le numéro 5.255 du RR dispose que: «Les bandes 312-315 MHz (Terre vers espace) et 387-390 MHz (espace vers Terre) attribuées au service mobile par satellite peuvent, de plus, être utilisées par des systèmes à satellites non géostationnaires. Cette utilisation est subordonnée à la coordination au titre du numéro **9.11A**».

### **4.2.2 Application**

Les systèmes non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz sont conçus pour des transmissions et des communications numériques.

### **4.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

Aucune limite stricte ne s'applique au SMS dans cette bande.

### **4.2.4 Caractéristiques de fonctionnement**

#### **4.2.4.1 Systèmes non OSG du SMS**

Il n'y a pas dans les Recommandations de l'UIT-R et en particulier dans la Recommandation UIT-R M.1184 d'informations sur les systèmes du SMS utilisant la bande 387-390 MHz.

Le système russe GONETS est enregistré dans le Fichier de référence international des fréquences de l'UIT. Le Tableau 4 donne les caractéristiques du système du SMS utilisé dans l'analyse.

Afin de réduire les rayonnements non désirés dans la bande 322-328,6 MHz, les satellites GONETS-M sont équipés de filtres spéciaux qui fournissent un affaiblissement de 50 dB.

TABLEAU 4  
Caractéristiques des satellites GONETS-M

Paramètre	Valeur
Type d'orbite	Circulaire
Altitude (km)	1 500
Inclinaison (degrés)	82,5
Nombre de satellites dans le plan	8
Nombre de plans orbitaux	6
Espacement entre les satellites dans le plan (degrés)	22,5
Espacement entre les plans (degrés)	60
Bande de fréquences de fonctionnement (MHz)	387-390
Densité spectrale de puissance maximale (dB(W/Hz))	-32,3
Puissance des émissions dans la bande 322-328,6 MHz (dB(W/6,6 MHz))	-34,8
Densité spectrale de puissance dans une tranche de 10 kHz de la bande 322-328,6 MHz (dB(W/10 kHz))	-63
Affaiblissement fourni par le filtre (dB)	50
Gain maximal de l'antenne du satellite d'émission (dB)	3
Diagramme de rayonnement de l'antenne d'émission	Non directif

#### 4.2.4.2 Systèmes OSG

Quelques satellites OSG du SMS sont enregistrés dans le Fichier de référence international des fréquences et énumérés dans le Tableau 5 mais on ne dispose d'aucun paramètre technique.

TABLEAU 5  
Satellites enregistrés dans le Fichier de référence international  
des fréquences (bande active 387-390 MHz)

Administration	Nom du satellite
AUS	ADF/ADF West
F	SYRACUSE-4
G	SKYNET-5
RUS	VOLNA

Par conséquent, on a pris un satellite OSG type à 0° de longitude pour l'évaluation des brouillages.

### 4.3 Seuil de compatibilité

#### 4.3.1 Systèmes non OSG

Dans le cas de constellations non OSG, on peut calculer un niveau seuil de puissance  $epfd$  de  $-240$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) pour les observations du continuum dans la bande 322-328,6 MHz à partir du niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant pour les observations de radioastronomie donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain maximal de l'antenne de

radioastronomie donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, lequel est de 51 dBi pour la bande de fréquences considérée. Pour les observations des raies spectrales, le niveau seuil de puissance epfd correspondant est de  $-255$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) dans une bande de 10 kHz.

#### 4.3.2 Systèmes OSG

La Recommandation UIT-R RA.769 donne des niveaux seuil de brouillage gênant pour les observations (large bande) du continuum. Ils sont rappelés dans le Tableau 6.

TABLEAU 6  
Critères de protection applicables à la radioastronomie

Bande active (MHz)	Service actif	Bande passive (MHz)	Puissance maximale (RA.769) (dBW)	Puissance surfacique (RA.769) (dB(W/m <sup>2</sup> ))	Densité spectrale de puissance (RA.769) (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
387-390	SMS	322-328,6	-201	-189	-258

#### 4.4 Evaluation des brouillages

##### 4.4.1 Systèmes non OSG

###### 4.4.1.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R M.1583 donne une méthode permettant d'évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système non OSG sur les sites de radioastronomie. Cette méthode est basée sur une division du ciel en cellules de taille à peu près égale et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation des satellites sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une moyenne du niveau des rayonnements non désirés (exprimée sous forme de puissance epfd) est établie sur une période de 2 000 s.

La station de radioastronomie retenue a un diamètre d'antenne de 100 m et un gain maximal de 51 dBi. Le diagramme d'antenne et le gain d'antenne maximal sont ceux donnés dans la Recommandation UIT-R RA.1631. Cette station est située au centre de la France.

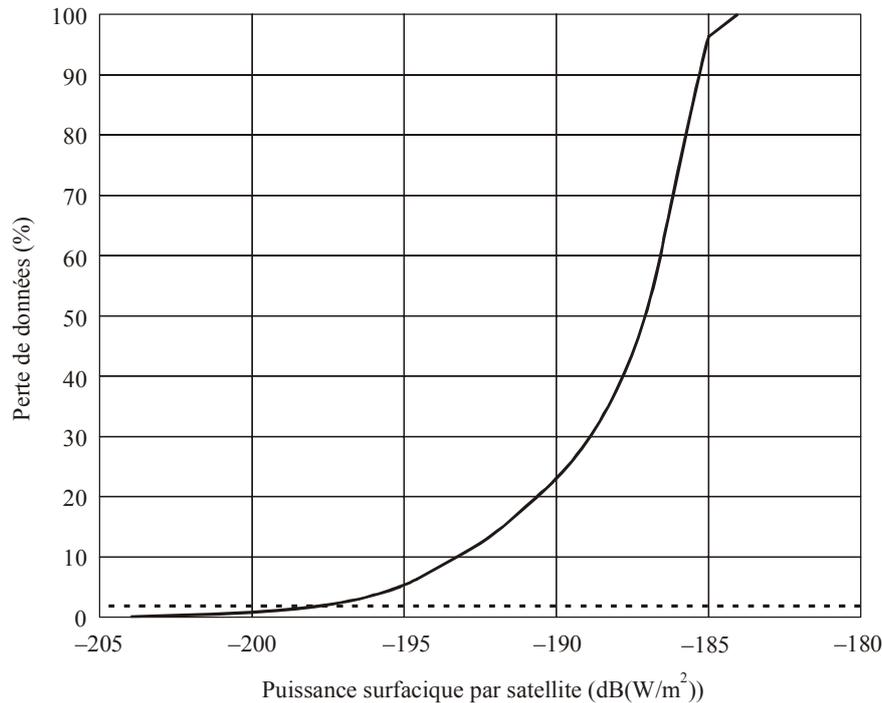
Les simulations ont été réalisées avec un angle d'élévation de l'antenne de radioastronomie minimum de 0° afin d'obtenir les résultats parfaitement généraux.

###### 4.4.1.2 Calcul du niveau de brouillage

La Fig. 10 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd pour le continuum est dépassé sur le site de la station de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée (comme expliqué dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

FIGURE 10

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie pour le système GONETS-M du SMS



Rap 2091-10

Pour que la valeur seuil de puissance epfd pour le continuum soit respectée pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système GONETS-M du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-198 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande 322-328,6 MHz attribuée à la radioastronomie.

La Fig. 11 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-198 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée.

Dans la Fig. 11, l'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut croît d'ouest en est.

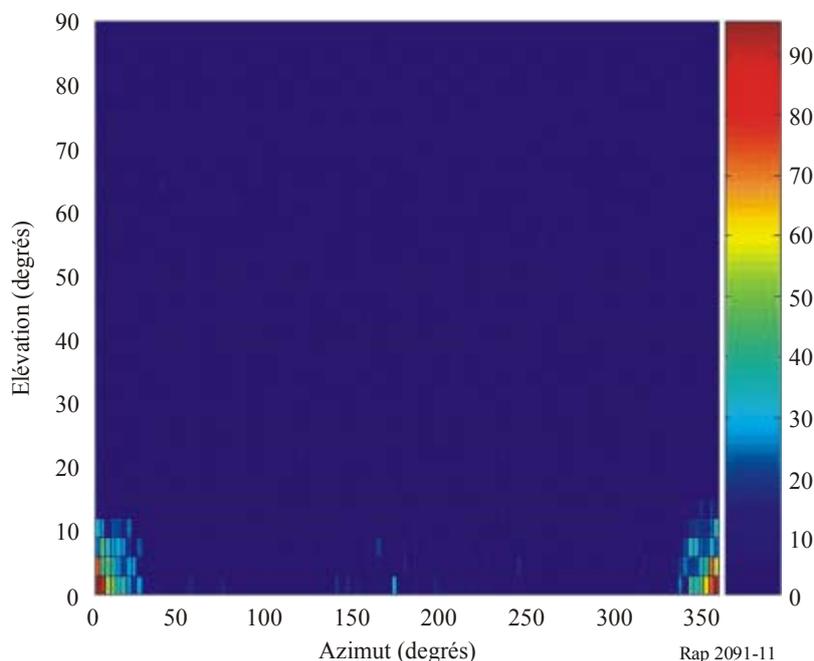
La valeur de puissance surfacique requise pour les observations de raies spectrales peut être directement déduite, sans autre simulation, de la valeur requise pour les observations du continuum, à l'aide de la formule (9):

$$pfd_{\text{spectral}} = pfd_{\text{continuum}} + epfd_{\text{spectral}} - epfd_{\text{continuum}} \quad (9)$$

Pour que la valeur seuil de puissance epfd pour les raies spectrales soit respectée pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système GONETS-M du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-213 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande quelconque de 10 kHz de la bande 322-328,6 MHz attribuée à la radioastronomie.

FIGURE 11

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-198 \text{ dB(W/m}^2)$  sur le site de radioastronomie, pour le système GONETS-M du SMS



Compte tenu des performances du système, la densité spectrale de puissance rayonnée à la surface de la Terre par un satellite GONETS M dans une largeur de bande quelconque de 10 kHz de la bande 322-328,6 MHz serait de  $-244,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$  (voir le § 4.3.1), valeur qui ne dépasse pas le critère susmentionnée de  $-213,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ .

#### 4.4.2 Systèmes OSG

On dispose d'informations dans le Fichier de référence international des fréquences pour les quatre satellites existants. Dans ce cas, on prend pour un satellite OSG type une valeur de puissance surfacique de  $-244,5 \text{ dBW/m}^2/10 \text{ kHz}$  pour une longitude de  $0^\circ$ .

Pour les études décrites dans les paragraphes suivants,

- toutes les caractéristiques des stations de radioastronomie sont prises sur le site web <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Ces stations sont situées dans des pays de la CEPT.

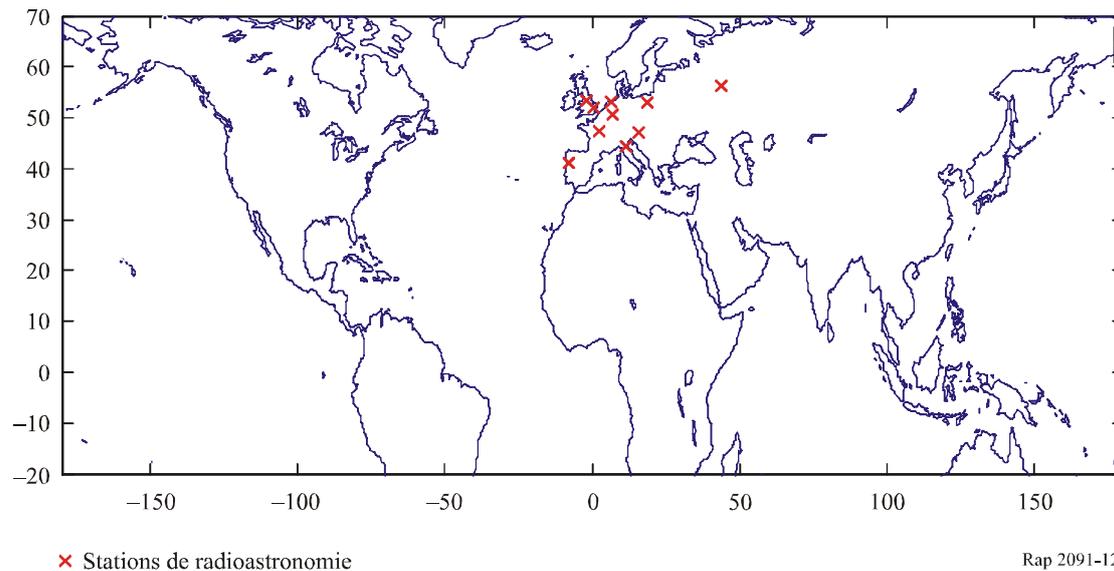
Compte tenu des emplacements différents du satellite OSG et de la station de radioastronomie considérée, on calcule la p.i.r.e. admissible dans la bande de radioastronomie de façon à ce qu'elle soit compatible avec le critère de protection pour toutes les stations de radioastronomie présentées dans la Fig. 12.

Par conséquent, lorsque certains paramètres types d'un satellite OSG sont disponibles, le facteur d'affaiblissement des émissions hors bande peut être défini comme étant la différence entre la p.i.r.e. du satellite OSG du service actif et la p.i.r.e. maximale admissible dans la bande passive.

L'application de ce facteur d'affaiblissement nécessaire avec les données conformément aux Recommandations pertinentes de l'UIT-R (limite de l'Appendice 3 du RR, par exemple) conclut, dans ce cas, l'évaluation du brouillage.

FIGURE 12

## Stations de radioastronomie et satellites OSG dans la bande 322-328,6 MHz



## 4.4.3 Valeurs obtenues

## 4.4.3.1 Satellites non OSG

A partir des données fournies au § 4.2.4, il est possible de calculer la puissance surfacique rayonnée dans la bande de radioastronomie par chaque satellite du SMS, comme indiqué dans le Tableau 7.

TABLEAU 7

## Puissance surfacique maximale rayonnée par le satellite GONETS-M

Paramètre	Continuum (bande 322-328,6 MHz)	Raies spectrales (toute largeur de bande de 10 kHz dans la bande 322-328,6 MHz)
Altitude (km)	1 500	
Puissance des émissions (dBW)	-34,8	-63
Affaiblissement fourni par le filtre supplémentaire (dB)	50	
Gain maximal de l'antenne du satellite d'émission (dB)	3	
Puissance surfacique maximale rayonnée par satellite (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-216,3	-244,5

Il ressort de l'analyse des résultats (voir le § 4.4.1.2) que le dépassement n'est pas de plus de 18 dB pour les observations du continuum et de plus de 31 dB pour les observations des raies spectrales. Cette conclusion est aussi valable pour les observations de radioastronomie VLBI dans la bande 322-328,6 MHz.

Il convient de noter que cette méthode ne tient pas compte de l'assignation dynamique des canaux pour les stations spatiales du satellite GONETS-M. En outre, les stations spatiales GONETS-M émettent des informations par salves brèves, chaque salve étant émise sur une fréquence différente. Dans l'étude, on a supposé que tous les satellites émettaient tout le temps dans le même canal de

fréquence. C'est la raison pour laquelle les résultats obtenus représentent le scénario de brouillage le plus défavorable.

#### 4.4.3.2 Satellites OSG

Les valeurs de p.i.r.e. données dans le Tableau 8 sont déduites des niveaux seuil de puissance surfacique figurant dans le Tableau 8 (dernière colonne) compte tenu de l'affaiblissement en espace libre. Il faut rappeler que l'on a pris un satellite à 0° de longitude étant donné qu'on ne disposait d'aucun paramètre technique pour les satellites enregistrés dans le Fichier de référence international des fréquences.

TABLEAU 8  
p.i.r.e. maximale admissible dans la bande de radioastronomie  
au niveau du satellite

Bande active (MHz)	Bande passive (MHz)	p.i.r.e. maximale dans la bande de radioastronomie (dB(W/Hz))	p.i.r.e. maximale dans la bande de radioastronomie (dBW)
387-390	322-328,6	-94,5	-26,3

## 4.5 Techniques de réduction des brouillages

### 4.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour  $G/T$ , c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points source. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Inévitablement, cela conduit à un certain accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 4.5.2 Impact potentiel pour le service de radioastronomie

*Performances du lobe latéral de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant de stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie aux rayonnements du sol et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs dans leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration total requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

## **5 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 406,1-410 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 400,15-401 MHz**

### **5.1 Service de radioastronomie**

#### **5.1.1 Bande attribuée**

La bande 406,1-410 MHz est attribuée à titre primaire au service fixe, au service mobile (sauf mobile aéronautique) et au service de radioastronomie.

Aux termes du numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables.

#### **5.1.2 Type d'observations**

Cette bande est utilisée uniquement pour les observations (large bande) du continuum.

Il faut disposer des fréquences nécessaires pour pouvoir faire des observations (large bande) du continuum des radiosources cosmiques; ces fréquences sont situées dans les bandes 322,0-328,6 MHz et 608-614 MHz, lesquelles sont également utilisées à cette fin par le service de radioastronomie.

#### **5.1.3 Critères de protection requis**

La Recommandation UIT-R RA.769 donne les niveaux seuil de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie.

Ces niveaux seuils sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans cette Recommandation, l'accroissement du temps d'observation ne permettra plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera alors incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

La bande 406,1-410 MHz est utilisée uniquement pour les observations du continuum. En général, pour ces observations, on utilise la totalité des 3,9 MHz de la bande. Pour les observations avec une seule antenne parabolique, le seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-189 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

#### **5.1.4 Caractéristiques de fonctionnement**

En général, les observations du continuum sont faites de façon différentielle: la zone du ciel contenant la radiosource cosmique peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on peut mesurer la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, le rayonnement provenant de la source est dissocié d'autres contributions à la sortie du récepteur.

## 5.2 Service mobile par satellite

### 5.2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 400,15-401 MHz est attribuée au SMS (espace vers Terre) à titre primaire dans toutes les régions.

Les numéros 5.208A et 5.209 du RR s'appliquent au SMS dans cette bande.

Le numéro 5.208A du RR dispose que «En assignant des fréquences aux stations spatiales du service mobile par satellite dans les bandes 137-138 MHz, 387-390 MHz et 400,15-401 MHz, les administrations doivent prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie dans les bandes 150,05-153 MHz, 322-328,6 MHz, 406,1-410 MHz et 608-614 MHz contre les brouillages préjudiciables dus à des rayonnements non désirés. Les seuils de brouillages préjudiciables pour le service de radioastronomie sont indiqués dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RA.769-1.(CMR-97)»

Le numéro 5.209 du RR dispose que «L'utilisation des bandes 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz, 400,15-401 MHz, 454-456 MHz et 459-460 MHz par le service mobile par satellite est limitée aux systèmes à satellites non géostationnaires.(CMR-97)»

### 5.2.2 Application

Les systèmes non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz peuvent transmettre des paquets de données numériques à de faibles débits (2,8 à 19,2 kbit/s). En raison des fréquences basses (au-dessous de 1 GHz) et de l'orbite terrestre basse, les stations terriennes et les satellites sont de petite taille et de faible puissance. Les réseaux sont conçus pour pouvoir couvrir l'ensemble ou la plus grande partie de la planète (certains systèmes ne peuvent pas couvrir en totalité les zones polaires). En général, les systèmes du SMS exploités au-dessous de 1 GHz fonctionnent en temps quasiment réel, mode dans lequel le même satellite dessert à la fois la station d'utilisateur et la station de liaison de connexion. Toutefois, les systèmes peuvent aussi fonctionner en mode enregistrement et retransmission, auquel cas la station d'utilisateur et la station de liaison de connexion ne se trouvent pas dans la même empreinte de satellite, comme c'est le cas lorsque l'utilisateur se trouve dans une zone océanique dégagée. Dans ce mode, les systèmes accusent un retard qui peut aller de quelques secondes à quelques heures en fonction du moment où le satellite suivant passe au-dessus de la station de liaison de connexion.

Les systèmes de ce type fournissent des communications de données hertziennes de grande qualité pour les entreprises, le secteur privé, les administrations publiques et les particuliers dans le monde entier.

### 5.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Aucune limite stricte ne s'applique au SMS dans cette bande.

### 5.2.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques techniques et de fonctionnement des quatre systèmes non OSG du SMS qui utilisent ou qui, selon les prévisions, utiliseront la bande pour leurs liaisons descendantes de service ou de passerelle sont décrites dans la Recommandation UIT-R M.1184. Il s'agit des systèmes L, N, Q et S. Les caractéristiques orbitales du système Q réel sont différentes de celles qui sont données dans la Recommandation. Les caractéristiques réelles sont données dans le Tableau 9, avec celles des systèmes L, N et S.

### 5.3 Seuil de comptabilité

Dans le cas des constellations non OSG, on peut calculer une valeur seuil de puissance  $epfd$  à partir de la valeur seuil de puissance surfacique donnée dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain d'antenne maximal donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, lequel est de 53 dBi pour la bande de fréquences considérée. La valeur seuil de puissance  $epfd$  pour la bande 406,1-410 MHz est donc de  $-242 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

TABLEAU 9

#### Paramètres orbitaux de plusieurs réseaux non OSG du SMS fonctionnant au-dessous de 1 GHz

Système	L	N	Q		S
Nombre de satellites	48	3	26		6
Altitude (km)	950	800	1 000		692, 667
Inclinaison (degrés)	50	88	66	83	98,04
Plans orbitaux	8	3	4	2	2
Satellite/plan	6	1	6	1	3
Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 15, 90	0, 90, 180, 270	0, 90	143,5, 53,5
Puissance d'émission sur la liaison descendante (W)	25	6,3	32		10
p.i.r.e. sur la liaison descendante (dBW)	19.7	10	17.8		18
Largeur de bande nécessaire (kHz)	35	85	45		300
Puissance surfacique dans la bande du SMS ( $\text{dB(W/m}^2\text{)}$ )	-111	-119	-113		-110

### 5.4 Evaluation du brouillage

#### 5.4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R M.1583 donne une méthode permettant d'évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système non OSG sur les sites de radioastronomie. Cette méthode est fondée sur une division du ciel en cellules pratiquement de même taille et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation de satellites sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une moyenne du niveau des rayonnements non désirés (exprimé sous forme de puissance  $epfd$ ) est établie sur une période de 2 000 s.

Le diamètre de l'antenne de radioastronomie est de 100 m ce qui correspond à un gain d'antenne maximal d'environ 53 dBi. Le diagramme de rayonnement de l'antenne et le gain d'antenne maximal sont ceux de la Recommandation UIT-R RA.1631.

Les coordonnées géographiques retenues sont les suivantes:

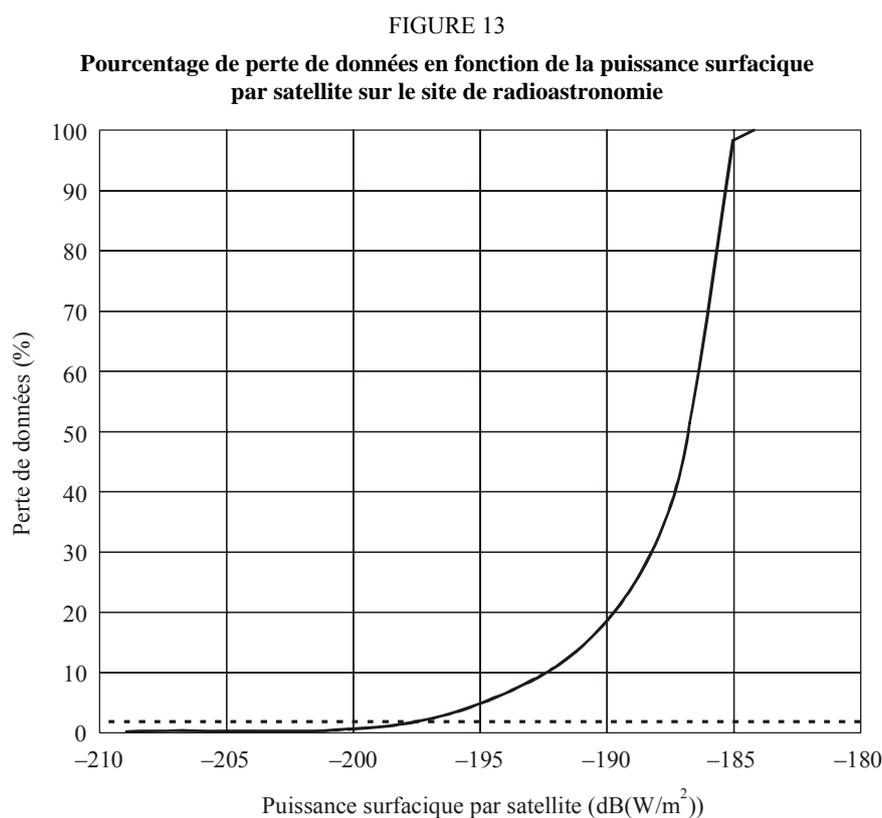
Latitude:  $46,9^\circ \text{ N}$     Longitude:  $2,4^\circ \text{ E}$

Les simulations ont été réalisées avec un angle d'élévation de  $0^\circ$  pour avoir des résultats parfaitement généraux.

## 5.4.2 Calcul des niveaux de brouillage

### 5.4.2.1 Système L du SMS

La Fig. 13 indique le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance  $epfd$  est dépassé sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée (comme expliqué dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

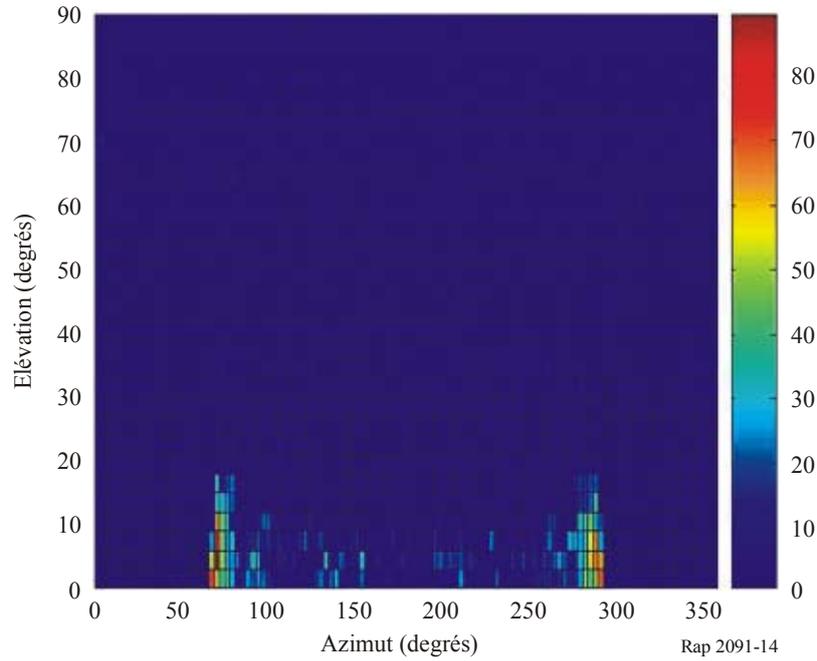


Pour que le niveau seuil de puissance  $epfd$  soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système L du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-197 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 14 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-197 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance  $epfd$  est dépassée.

FIGURE 14

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour  
une valeur de puissance surfacique de  $-197 \text{ dB(W/m}^2)$   
sur le site de radioastronomie



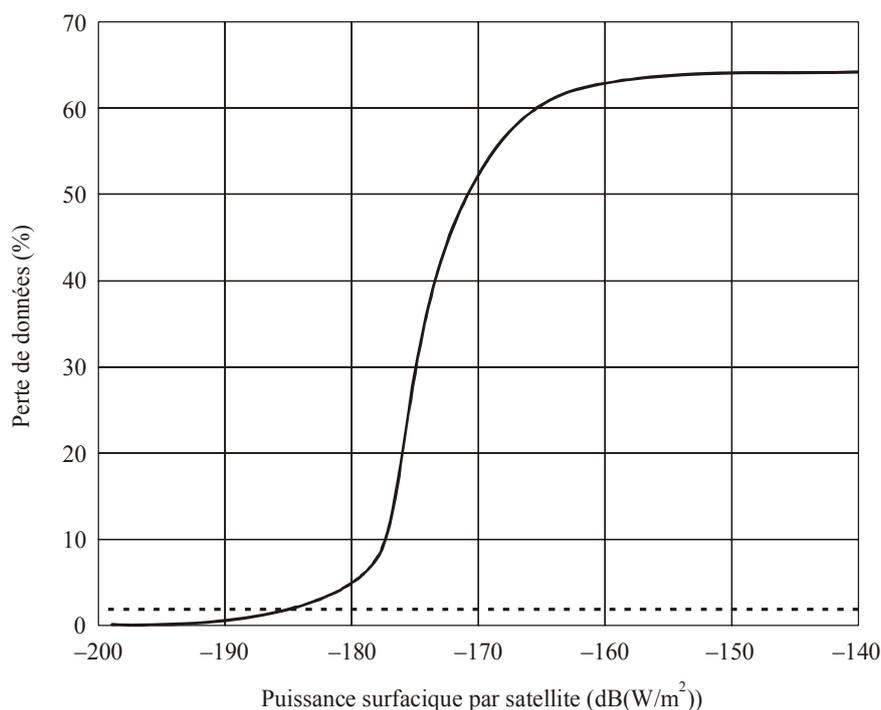
Dans les Fig. 14, 16, 18 et 20, l'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut croît d'ouest en est.

#### 5.4.2.2 Système N du SMS

La Fig. 15 indique le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

FIGURE 15

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie



Rap 2091-15

Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système N du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 16 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée.

#### 5.4.2.3 Système Q du SMS

La Fig. 17 indique le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système Q du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 18 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée.

FIGURE 16

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie

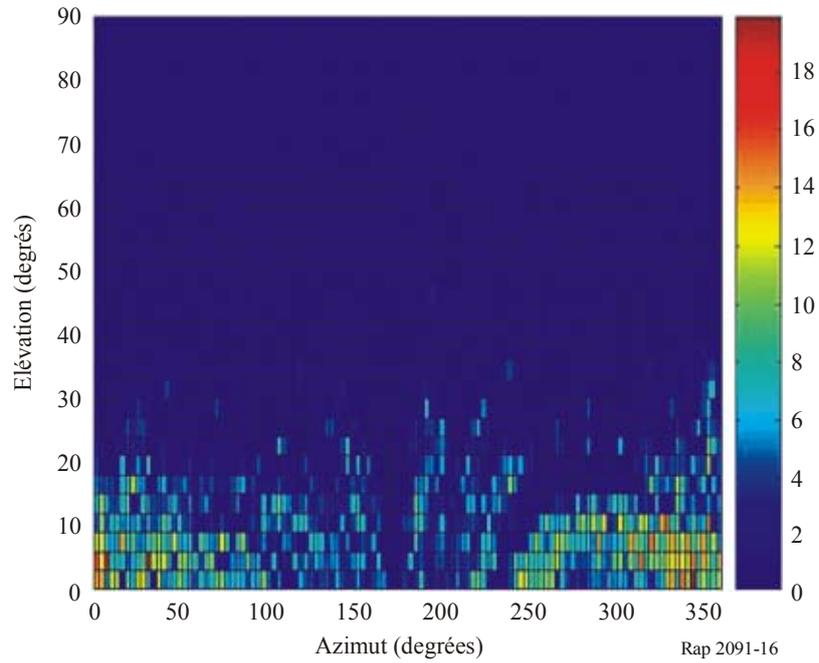
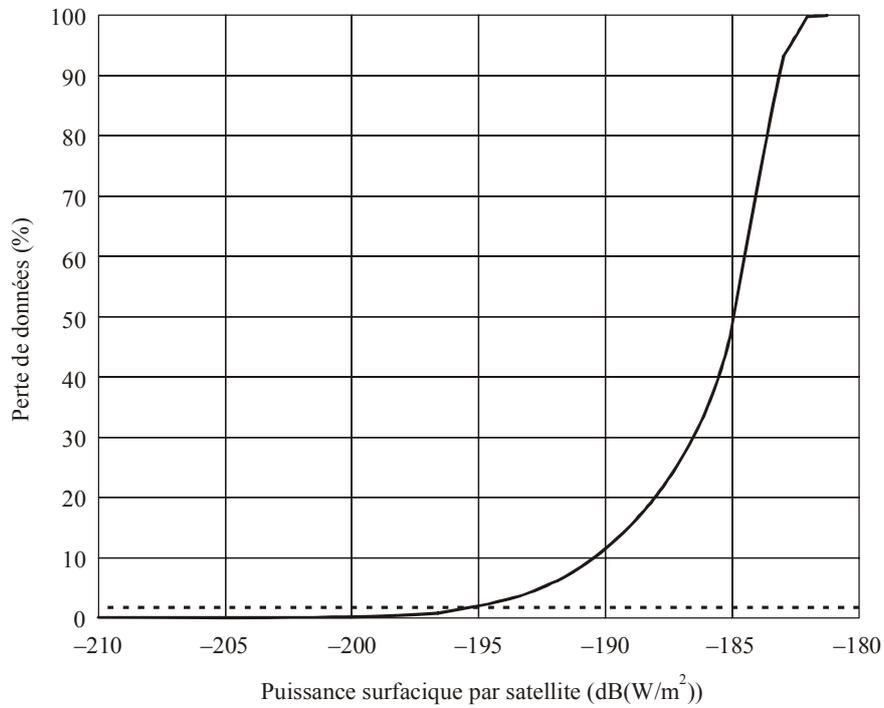


FIGURE 17

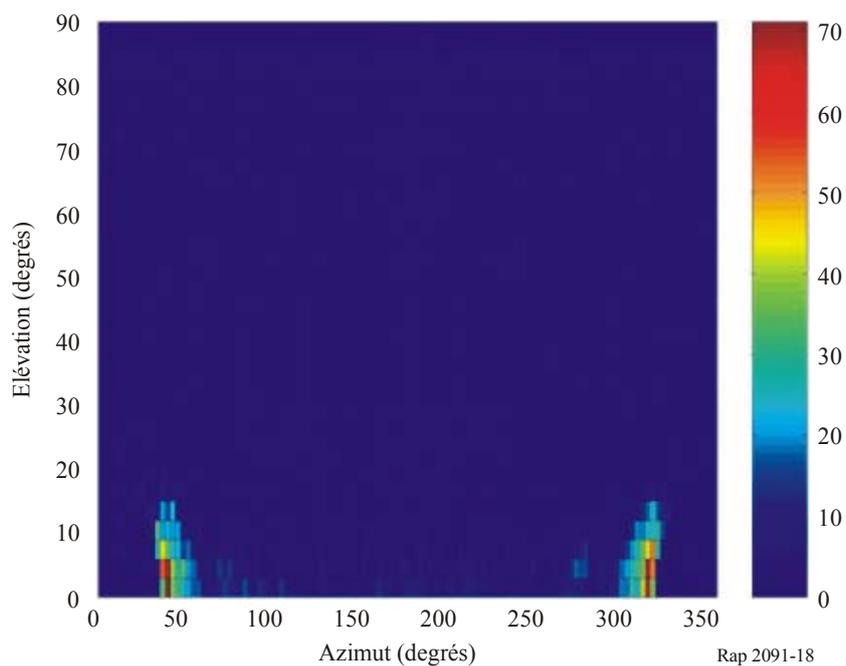
Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie



Rap 2091-17

FIGURE 18

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie

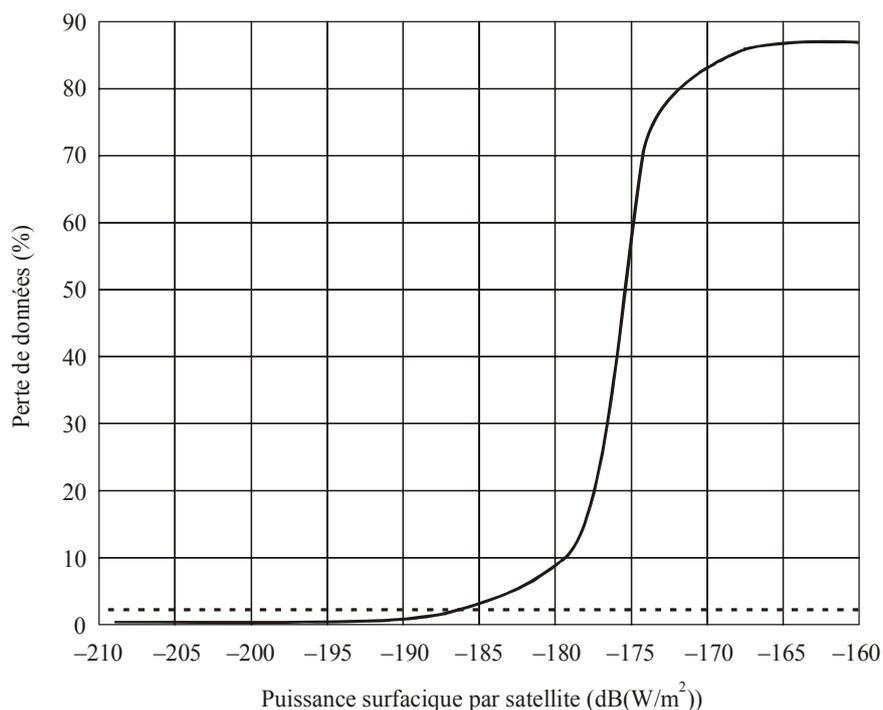


#### 5.4.2.4 Système S du SMS

La Fig. 19 indique le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance  $epfd$  est dépassée sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée.

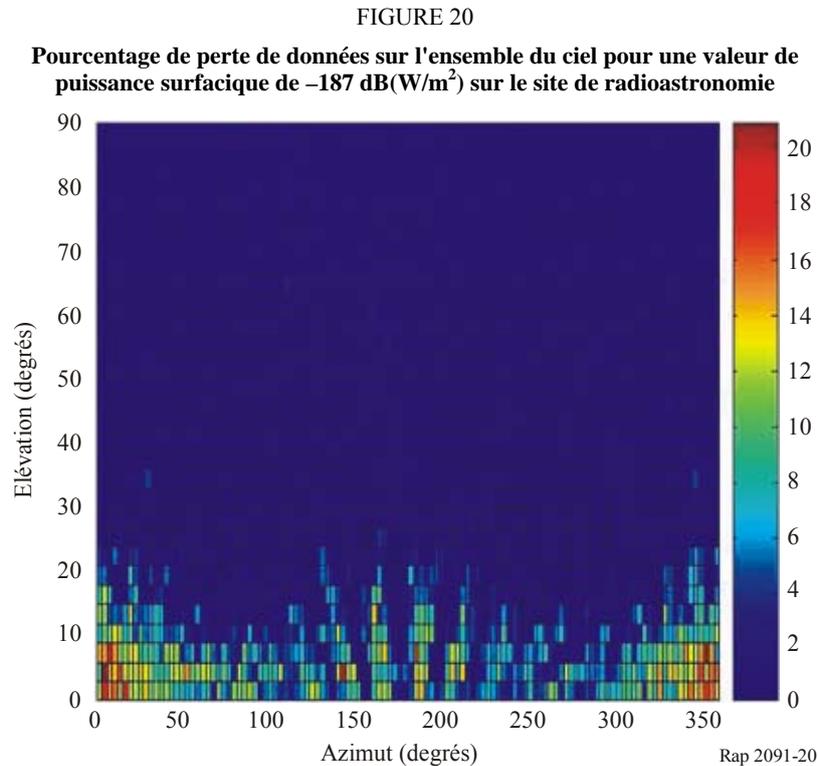
FIGURE 19

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie



Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système S du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-187 \text{ dB(W/m}^2)$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 20 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-187 \text{ dB(W/m}^2)$ , le pourcentage de temps pendant lequel la valeur seuil de puissance epfd est dépassée.



### 5.4.3 Valeurs obtenues

Les rayonnements non désirés des satellites non OSG du SMS exploités dans la bande 400,15-401 MHz qui passent dans la bande 406,1-410 MHz attribuée à la radioastronomie tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels. Le Tableau 10 indique, pour chacun des quatre systèmes non OSG du SMS exploités au-dessous de 1 GHz, l'affaiblissement nécessaire pour que le seuil de puissance epfd gênant ne soit pas dépassé.

Il convient de noter que pour calculer le volume total des rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie, on a considéré que le niveau de ces rayonnements est constant dans l'ensemble de la bande attribuée à la radioastronomie. Cette hypothèse très stricte manifestement ne représente pas la réalité car les rayonnements non essentiels s'observent généralement à certaines fréquences discrètes. Par conséquent, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour tenir compte de cette composante «discrète» des rayonnements non essentiels afin d'obtenir des niveaux des rayonnements non essentiels du SMS plus réalistes dans la bande attribuée à la radioastronomie.

TABLEAU 10

**Affaiblissement des réseaux non OSG du SMS au-dessous de 1 GHz  
nécessaire pour atteindre le niveau de puissance epfd gênant**

Système	L	N	Q	S
Puissance d'émission dans la bande du SMS (W)	25	6,3	32	10
$43 + 10 \log P$	57	51	58	53
Affaiblissement des rayonnements non essentiels (Appendice 3) (dBc dans une largeur de bande de 4 kHz)	57	51	58	53
Niveau des rayonnements non essentiels (Appendice 3) (dBW dans une largeur de bande de 4 kHz)	-43	-43	-43	-43
Puissance surfacique dans la bande du SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-111	-110	-113	-110
Niveau des rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie (dBW)	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
Puissance surfacique dans la bande de radioastronomie (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-138	-131	-141	-133
Puissance surfacique maximale dans la bande de radioastronomie (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-197	-185	-195	-187
Affaiblissement nécessaire (dB)	59	54	54	54

## 5.5 Techniques de réduction des brouillages

### 5.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour  $G/T$ , c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour tous les points source. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque les brouillages dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peuvent être identifiés pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 5.5.2 Impact potentiel sur le service de radioastronomie

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant de stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie aux rayonnements du sol et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Il est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration totale requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

## **6 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 608-614 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) susceptibles de fonctionner dans la bande 620-790 MHz**

### **6.1 Service de radioastronomie**

#### **6.1.1 Bande attribuée**

La bande 608-614 MHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire dans la Région 2, en Inde conformément au numéro 5.307 et en Chine conformément au numéro 5.305 du RR.

Cette bande est, de plus, attribuée, conformément au numéro 5.306, au service de radioastronomie à titre secondaire dans la Région 2, à l'exception de la Zone africaine de radiodiffusion (voir les numéros 5.10 à 5.13) et dans la Région 3.

Le numéro 5.149 s'applique à cette bande dans les Régions 1 et 3. Aux termes de ce numéro, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables.

#### **6.1.2 Type d'observations**

Cette bande est utilisée pour les observations (large bande) du continuum avec une seule antenne parabolique ou en mode VLBI.

Il est nécessaire de faire en sorte que l'on dispose des fréquences nécessaires pour réaliser des observations (large bande) du continuum des radiosources cosmiques; ces fréquences sont situées dans les bandes 406,1-410 MHz et 1 400-1 427 MHz qui sont également utilisées à cette fin par le service de radioastronomie.

#### **6.1.3 Critères de protection requis**

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Ces niveaux seuils sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, performances de l'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans cette Recommandation, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors que de garantir que les données scientifiques recueillies par les savants sont des données valables. La station de radioastronomie sera alors incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée ne peut être mise en œuvre.

La bande 608-614 MHz est utilisée uniquement pour les observations du continuum. Pour réaliser des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité des 6 MHz de la bande et, dans ce cas, la limite seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Les observations VLBI, pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages, ce qui atteste le niveau seuil de  $-143 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande pour l'ensemble de la largeur de 6 MHz.

#### 6.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

En général, les observations du continuum sont faites de façon différentielle: la zone du ciel contenant la radiosource cosmique peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs des positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, les rayonnements provenant de la source sont dissociés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement et enregistrés sur une bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## 6.2 Service de radiodiffusion par satellite

### 6.2.1 Bande d'émission attribuée

Le numéro 5.311 du RR qui s'applique à cette bande dispose ce qui suit: «Des fréquences comprises dans la bande 620-790 MHz peuvent être assignées à des stations de télévision à modulation de fréquence du service de radiodiffusion par satellite, sous réserve de l'accord entre les administrations concernées et celles dont les services fonctionnant conformément au présent Tableau, sont susceptibles d'être affectées (voir les Résolutions **33 (Rév.CMR-03)** et **507 (Rév.CMR-03)**). De telles stations ne doivent pas produire une puissance surfacique supérieure à  $-129 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour des angles d'arrivée inférieurs à  $20^\circ$  (voir la Recommandation **705**) à l'intérieur du territoire d'autres pays sans le consentement des administrations de ceux-ci. La Résolution **545 (CMR-03)** s'applique.(WRC-03)»

Il est demandé dans la Résolution 545 (CMR-03) de réaliser des études et d'élaborer des critères de partage et des dispositions réglementaires avant la CMR-07 afin d'assurer la protection des services de Terre, et en particulier des services de radiodiffusion télévisuelle de Terre dans la bande 620-790 MHz vis-à-vis des réseaux OSG du SRS et des réseaux ou systèmes non OSG du SRS que l'on envisage d'exploiter dans cette bande.

### 6.2.2 Application

Les systèmes du SRS susceptibles d'utiliser cette bande ont pour but d'offrir un service de radiodiffusion à l'échelle nationale ou régionale. Cette bande peut être utilisée par des systèmes du SRS OSG ou non OSG.

Des contenus très divers peuvent être, grâce à ce système, envoyés à des terminaux mobiles en grandes quantités, grâce à l'utilisation de techniques de compression, de codage et de multiplexage très efficaces.

### 6.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

A titre provisoire, la puissance surfacique maximale rayonnée à la surface de la Terre dans la zone de service d'une station de radiodiffusion de Terre par une station spatiale du SRS dans la bande 620-790 MHz ne devrait pas dépasser les valeurs suivantes:

-129	dB(W/m <sup>2</sup> )	pour	$\delta \leq 20^\circ$
$-129 + 0,4 (\delta - 20)$	dB(W/m <sup>2</sup> )	pour	$20^\circ < \delta < 60^\circ$
-113	dB(W/m <sup>2</sup> )	pour	$60^\circ < \delta < 90^\circ$

où  $\delta$  est l'angle d'arrivée (voir la Recommandation 705).

### 6.2.4 Caractéristiques de fonctionnement

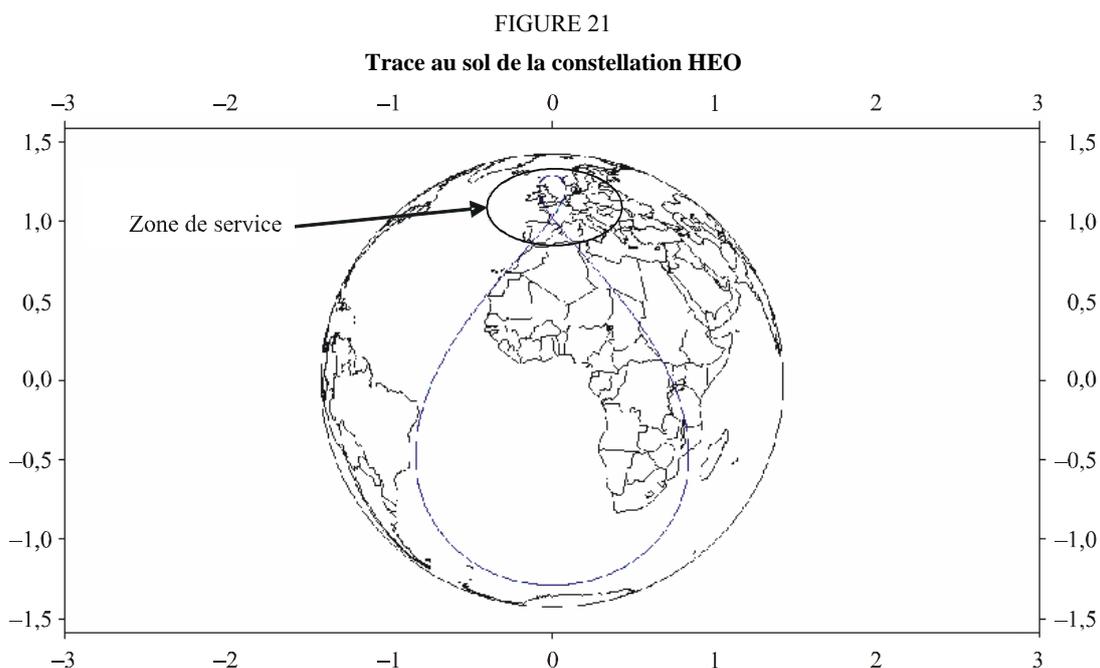
#### 6.2.4.1 Systèmes non OSG du SRS

##### 6.2.4.1.1 Paramètres de la constellation

Le système examiné dans la présente étude utilisera des satellites en orbite fortement elliptique (HEO). Les paramètres de la constellation sont optimisés afin d'offrir des conditions de visibilité satisfaisantes à n'importe quel utilisateur se trouvant dans la zone de service. L'exemple ci-après illustre le cas d'une constellation Tundra desservant les pays d'Europe de l'Ouest avec trois satellites ayant une période de révolution de 24 heures:

- Demi-grand axe: 42 164 km
- Excentricité: 0,2684
- Inclinaison: 63,4°
- Argument du périégée: 270°
- Ascension droite du nœud ascendant: 110°, 230° et 350°
- Anomalie moyenne: 340°, 220° et 100°

La Fig. 21 illustre la trace au sol du satellite à la surface de la Terre.



### 6.2.4.1.2 Horaires d'activité des satellites

Compte tenu des paramètres orbitaux d'une constellation HEO, un satellite donné, avec un angle d'élévation de plus de 60°, n'est en visibilité de la zone de service que pendant 1/3 du temps:

- Sur sa période de révolution de 24 heures, le satellite, avec un angle d'élévation de plus de 60°, sera en visibilité de la zone de service pendant 8 heures de suite, après quoi, il ne sera plus en visibilité pendant les 16 heures suivantes.
- Les satellites seront programmés de façon à être inactifs pendant la longue période de 16 heures où ils ne sont pas en visibilité directe. Cela signifie qu'un seul satellite émettra en direction de la zone de service à un moment donné.

### 6.2.4.1.3 Antenne de satellite et gestion de la puissance

La puissance surfacique au sol sera maintenue constante, indépendamment de l'heure et de l'emplacement du récepteur dans la zone de service. Pour ce faire, l'antenne de satellite sera conçue de façon à respecter un certain nombre de contraintes pendant les périodes de transmission actives:

- *Transmission iso-flux sur la zone de service*  
Le satellite utilisera une antenne iso-flux afin d'optimiser la puissance dont il a besoin et de respecter les limites de puissance surfacique dans la zone de service. En d'autres termes, le gain de l'antenne du satellite dans la zone de service sera tel que la puissance surfacique à la surface de la Terre sera maintenue constante, quelle que soit la position du récepteur dans la zone de service.
- *Agrandissement de faisceau*  
L'angle solide selon lequel un satellite voit la zone de service variera avec le temps, en fonction de son altitude. Pour régler cet «effet de zoom» et pour réduire les besoins globaux de puissance, le satellite réglera sa puissance et la forme de son faisceau en fonction de son altitude.

### 6.2.4.2 Cas des satellites OSG

Deux satellites OSG sont enregistrés dans le Fichier de référence international des fréquences. Ce sont les satellites STATSIONAR qui appartiennent à la Fédération de Russie.

Les paramètres des satellites STATSIONAR ont été pris en compte dans les études de compatibilité qui ont été réalisées pour évaluer l'impact de systèmes futurs ayant des caractéristiques analogues. Ils sont donnés dans le Tableau 11.

TABLEAU 11

Paramètres des satellites STATSIONAR

Nom	STATSIONAR-T	STATSIONAR-T2
Longitude (degrés)	99	99
Fréquence porteuse (MHz)	714	754
Largeur de bande (MHz)	24	24
Puissance crête (dBW)	23	21,5
Puissance crête (dB(W/Hz))	-51	-52,3
Gain d'antenne maximal (dBi)	34	33,5
Position du centre de l'empreinte (degrés)	$L = 91, l = 73$	$L = 95,24, l = 69,16$

TABLEAU 11 (*fin*)

Nom	STATSIONAR-T	STATSIONAR-T2
Angle formé par la direction de pointage des satellites OSG et la direction du satellite OSG vers la station de radioastronomie (degrés)	8,7	4,4
Gain d'antenne en direction de la station de radioastronomie la plus exposée (dBi)	27,5	13,5
p.i.r.e. dans la bande active en direction de la station de radioastronomie la plus exposée (dB(W/Hz))	-23,5	-38,8

### 6.3 Seuil de compatibilité

#### 6.3.1 Systèmes non OSG

Dans le cas des constellations non OSG, on peut calculer un niveau seuil de puissance  $epfd$  de  $-241$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) pour la bande 608-614 MHz à partir du niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant pour les observations de radioastronomie donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain d'antenne de radioastronomie maximal donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, lequel est de 56 dBi pour la bande de fréquences considérée.

#### 6.3.2 Systèmes OSG

La Recommandation UIT-R RA.769 donne les niveaux seuil de brouillage gênant pour les observations en radioastronomie (large bande) du continuum. Ces niveaux sont rappelés dans le Tableau 12.

TABLEAU 12

#### Critères de protection pour la radioastronomie

Bande active (MHz)	Service actif	Bande passive (MHz)	Puissance reçue maximale (RA.769) (dBW)	Puissance surfacique (RA.769) (dB(W/m <sup>2</sup> ))	Densité spectrale de puissance (RA.769) (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))
620-790	SRS	608-614	-202	-185	-253

### 6.4 Evaluation des brouillages

#### 6.4.1 Systèmes non OSG

##### 6.4.1.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R S.1586 donne une méthode permettant d'évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système non OSG sur les sites de radioastronomie. Cette méthode est fondée sur une division du ciel en cellules pratiquement de même taille et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation de satellite sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une moyenne du niveau des rayonnements non désirés (exprimée sous forme de puissance  $epfd$ ) est établie sur une période de 2 000 s.

Dans le cas d'un système HEO, le calcul est grandement simplifié car il n'y a qu'un seul satellite qui émet en direction de la Terre à un moment donné.

#### 6.4.1.2 Calcul du niveau de brouillage

Les études montrent que la compatibilité peut être assurée entre les rayonnements non désirés produits par des satellites HEO du SRS fonctionnant dans la bande 620-790 MHz et les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 608-614 MHz si la puissance surfacique rayonnée par un satellite HEO du SRS en direction d'une station de radioastronomie quelconque est inférieure à  $-188 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans l'ensemble de la bande de radioastronomie.

Ce niveau garantit que le pourcentage de perte de données pour la radioastronomie, dans la partie du ciel à l'intérieur de laquelle la station de radioastronomie réalise les observations, compte tenu de l'angle d'élévation minimal  $\theta_{min}$  auquel cette station réalise ses observations dans la bande de fréquences (telle que définie dans le Tableau A de l'Annexe 2 de l'Appendice 4 du RR), sera inférieur à 2%.

La Fig. 22 donne pour le site de radioastronomie de Jodrell Bank (Royaume-Uni), pour chaque cellule et sur l'ensemble du ciel, le nombre d'essais d'une durée de 2 000 s long au cours desquels le critère de puissance  $epfd$  a été dépassé. Le nombre total d'essais par cellule est de 30, l'échelle verticale sur la droite représentant le nombre d'essais par cellule pendant lesquels le critère de puissance  $epfd$  a été dépassé. Par exemple, la Fig. 22 fait apparaître que si le radiotélescope pointe vers un azimut de  $350^\circ$  et un angle d'élévation compris entre  $84^\circ$  et  $87^\circ$  (voir la cellule correspondante dans la Fig. 22), toutes les observations réalisées seront affectées par des brouillages dépassant le niveau gênant donné dans la Recommandation UIT-R RA.769.

#### 6.4.2 Systèmes OSG

Pour les études décrites dans les paragraphes suivants,

- toutes les caractéristiques des stations de radioastronomie sont prises sur le site web <http://www.astron.nl/craf/raobs.htm>. Ces stations sont situées dans des pays de la CEPT;
- toutes les caractéristiques des satellites OSG sont prises du Fichier de référence international des fréquences de l'UIT.

Les Fig. 23 et 24 illustrent le cas de la station de radioastronomie la plus sensible et l'affaiblissement au-dessous du gain d'antenne maximal en direction de cette station.

FIGURE 22

## Résultats de simulation pour le site Jodrell Bank

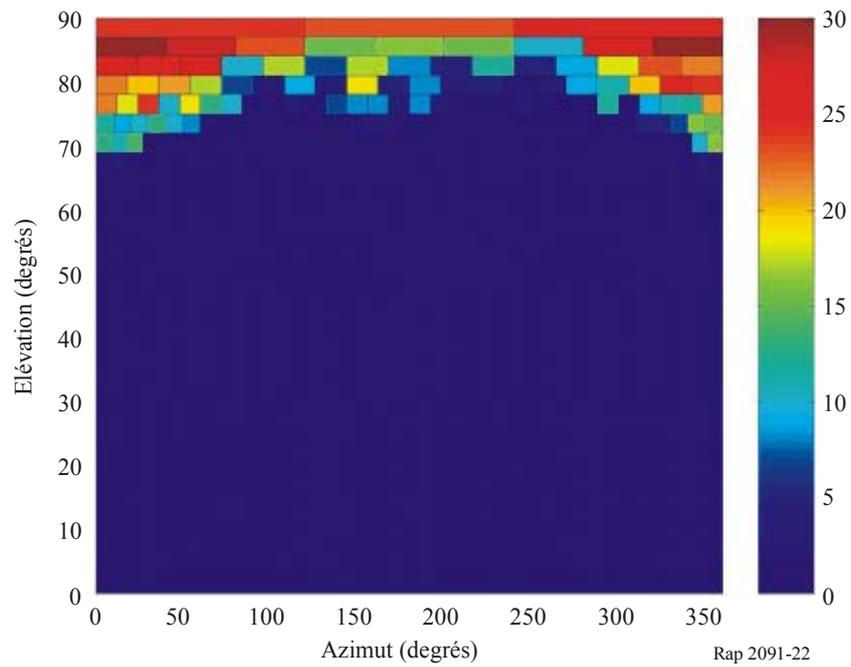


FIGURE 23

## STATSTIONAR-T

## Stations de radioastronomie et satellites OSG dans la bande 608-614 MHz

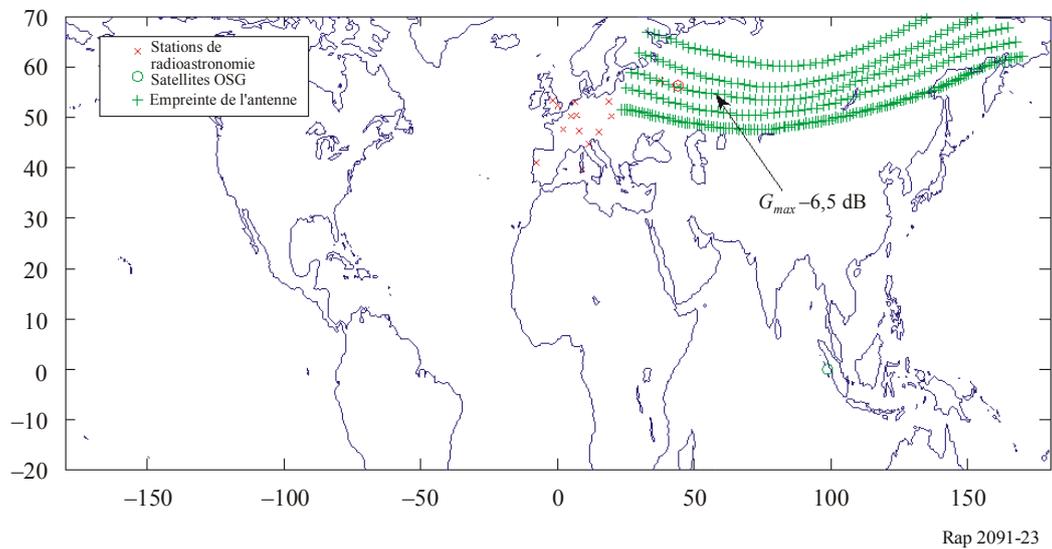
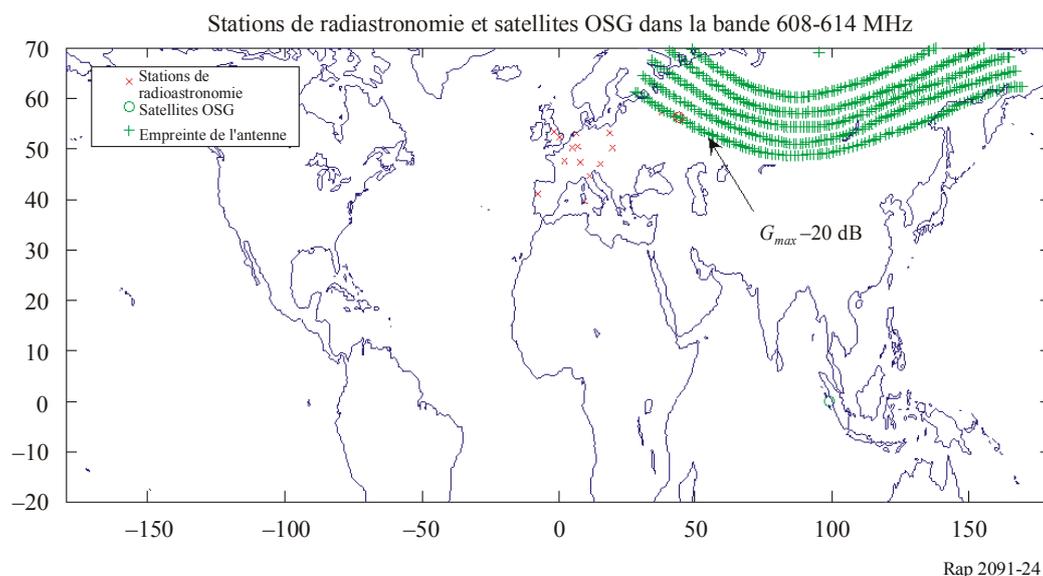


FIGURE 24

## STATSTIONAR-T2



Compte tenu des emplacements différents du satellite OSG et des stations de radioastronomie les plus sensibles, on calcule la p.i.r.e. admissible dans la bande de radioastronomie de façon à ce qu'elle soit compatible avec le critère de protection.

En conséquence, on calcule un facteur d'affaiblissement des émissions hors bande, lequel est donné par la différence entre la p.i.r.e. du satellite OSG du service actif et la p.i.r.e. admissible maximale dans la bande passive.

La conformité de ce facteur d'affaiblissement nécessaire avec les données pertinentes conformément aux Recommandations pertinentes de l'UIT-R (limite fixée dans l'Appendice 3 du RR, par exemple) met fin à l'évaluation des brouillages.

### 6.4.3 Valeurs obtenues

#### 6.4.3.1 Systèmes non OSG

La valeur de puissance surfacique des rayonnements non désirés de  $-188 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  correspond à un affaiblissement de 74 dB de la puissance surfacique rayonnée par un satellite HEO du SRS à la surface de la Terre, dans une largeur de bande de 6 MHz, dans l'hypothèse d'une puissance surfacique maximale rayonnée par le système HEO du SRS dans la bande 620-790 MHz est de  $-113 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 8 \text{ MHz))}$ , ce qui est le niveau maximal indiqué dans la Recommandation 705.

#### 6.4.3.2 Systèmes OSG

Les valeurs de p.i.r.e. données dans le Tableau 12 sont calculées à partir des niveaux seuil de puissance surfacique donnés dans ce même tableau (dernière colonne) compte tenu des affaiblissements en espace libre.

TABLEAU 13

**p.i.r.e. admissible maximale dans la bande de radioastronomie au niveau du satellite**

Bande active (MHz)	Bande passive (MHz)	p.i.r.e. maximale dans la bande de radioastronomie (dB(W/Hz))	p.i.r.e. maximale dans la bande de radioastronomie (dBW)
620-790	608-614	-92	-24

Compte tenu des Tableaux 10 et 12, le facteur d'affaiblissement doit être supérieur à 69 dB (92 – 23,5 dB) pour le système STATIONAR-T et à 53 dB (92 – 38,8 dB) pour le système STATIONAR-T2. Les rayonnements non désirés tombant dans la bande de radioastronomie appartiennent au domaine des rayonnements non essentiels.

Les dispositions réglementaires applicables au SRS qui sont données dans le Tableau II de l'Appendice 3 du RR indiquent un affaiblissement du niveau de puissance des émissions maximal autorisé supérieur à la valeur minimale comprise entre 60 dBc et  $43 + 10 \log P$ . P représente la puissance moyenne en W. Dans ce cas, le facteur d'affaiblissement sera de 60 dBc.

Compte tenu des niveaux indiqués dans l'Appendice 3 du RR, les rayonnements non désirés produits par le satellite STATIONAR dans la bande de radioastronomie en direction des stations de radioastronomie situées dans les pays de la CEPT seront au maximum de 10 dB supérieurs aux niveaux seuils donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769. Toutefois, l'expérience a montré que les niveaux figurant dans l'Appendice 3 du RR sont très élevés et que les rayonnements non essentiels des systèmes sont en fait bien inférieurs à ces niveaux (jusqu'à 20 dB de moins) (voir COSPAS-SARSAT). Par conséquent, on estime que le niveau seuil donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 peut être respecté dans cette bande de fréquences particulière par les futurs systèmes présentant les mêmes caractéristiques.

## 6.5 Techniques de réduction des brouillages

### 6.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour  $G/T$ , c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points source. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un certain accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches.

*Suppression en temps et/ou en fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 6.5.2 Impact potentiel sur le service de radioastronomie

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant de stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie aux rayonnements du sol, et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression en temps et/ou en fréquence:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

## **7 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes non OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz**

### **7.1 Service de radioastronomie**

#### **7.1.1 Bande attribuée**

La bande 1 400-1 427 MHz est attribuée uniquement à des services passifs, à titre primaire, à savoir, le service de radioastronomie (SRA), le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et le service de recherche spatiale (passive). Seul le cas du service de radioastronomie est examiné dans la présente Annexe.

Le numéro 5.340 du RR interdit toutes les émissions dans cette bande.

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire ainsi qu'à d'autres services actifs comme le SMS ou le service de radionavigation aéronautique.

Aux termes du numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables.

#### **7.1.2 Type d'observations**

##### **7.1.2.1 Bande 1 400-1 427 MHz**

La bande 1 400-1 427 MHz est utilisée plus intensément que toute autre dans toutes les Régions de l'UIT-R. La principale utilisation radioastronomique de cette bande est de faire des observations de raies spectrales d'atomes d'hydrogène neutre dans le cosmos (désigné aussi par HI), qui a une fréquence de repos de 1 420,406 MHz. Cet élément est, de loin, le principal constituant de notre galaxie et d'autres galaxies, et il est présent dans d'énormes nuages de structure complexe. Cette raie est observée à la fois en émission et en absorption, et elle est élargie et décalée en fréquence par des effets Doppler dus à des mouvements locaux et en masse dans les structures des nuages. Par conséquent, les observations de HI peuvent être utilisées pour cartographier la distribution de la matière et de ses mouvements dans notre galaxie et dans d'autres galaxies. De cette façon, nous pouvons cartographier la structure de notre galaxie, et la façon dont bouge la matière.

L'attribution de la bande 1 400-1 427 MHz est suffisamment large pour englober les émissions décalées par l'effet Doppler qui sont rayonnées par les nuages dans notre galaxie et dans des galaxies voisines. Les mesures de la polarisation de l'émission ou de l'absorption de HI donnent d'importantes informations sur les champs magnétiques galactiques et permettent donc d'améliorer notre compréhension de la structure des galaxies.

La bande 1 400-1 427 MHz est aussi utilisée pour les observations du continuum des émissions large bande produites par les plasmas chauds formés lorsque des étoiles chauffent les nuages environnants, et par l'interaction d'électrons à haute énergie dans le champ magnétique galactique (rayonnement synchrotron).

### 7.1.2.2 Bande 1 610,6-1 613,8 MHz

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH (radical oxyhydryle). La raie OH, qui a une fréquence de repos de 1 612 MHz, est une des plus importantes raies spectrales pour la radioastronomie, et figure comme telle dans la Recommandation UIT-R RA.314. Le radical OH a été le premier radical cosmique à être détecté à des fréquences radioélectriques (1963), et continue d'être un puissant outil de recherche. OH produit quatre raies spectrales, à des fréquences d'approximativement 1 612, 1 665, 1 667 et 1 720 MHz, qui ont toutes été observées dans notre propre galaxie, aussi bien que dans d'autres galaxies externes. L'étude des raies OH fournit des informations sur une large gamme de phénomènes astronomiques, par exemple, sur la formation de protoétoiles et sur l'évolution des étoiles. Pour interpréter la plupart des observations faites sur les raies OH, il est nécessaire de mesurer la puissance relative de plusieurs de ces raies. Si on perd la possibilité d'observer l'une ou l'autre de ces raies, on ne pourra peut-être plus étudier certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «de façon cohérente», créant un rayonnement bande étroite. Elles sont légèrement élargies à cause des conditions physiques de cette concentration. Le mouvement de ces concentrations par rapport à la Terre induit un décalage Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, conduit à un spectre plus complexe, consistant en un certain nombre de profils de raies gaussiens superposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause de décalages Doppler différents). La largeur de bande attribuée est nécessaire pour faire face à l'étalement et glissement du spectre par des mouvements différentiels et totaux de la source.

A certaines étapes de leur évolution, certaines classes d'étoiles ne rayonnent que sur la raie à 1 612 MHz. L'étude de cette raie permet aux astronomes d'évaluer les propriétés physiques de ces étoiles comme le taux d'émission de gaz par les étoiles et son recyclage dans le milieu interstellaire. Certaines propriétés de ces étoiles ne peuvent pas être déduites d'autres observations astronomiques. Les mesures d'émission d'OH par les étoiles ont aussi été utilisées pour estimer la distance au centre de la galaxie, pour mesurer la masse du corps central de notre galaxie, et pour étudier la distribution spatiale des composants moléculaires dans notre galaxie et dans les galaxies externes. Enfin, des émissions maser extrêmement fortes ont été détectées près du noyau d'un certain nombre de galaxies externes. Cette émission mégamaser d'OH provenant de noyaux galactiques permet aux astronomes d'étudier la température et la densité du gaz moléculaire en leur centre.

La raie spectrale OH est aussi observée dans les comètes; il y a peu de souplesse dans la planification des observations de ces «cibles occasionnelles».

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans un grand nombre de canaux de fréquence (typiquement 256 à 4 096) distribués sur la bande de fréquences utilisée. La largeur et le nombre de canaux doivent être suffisamment grands pour reproduire de façon fidèle le spectre de l'émission reçue par le radiotélescope. On utilise généralement des largeurs de bande instantanées d'environ 0,2 à 20 kHz par canal de fréquence, selon le programme scientifique.

Les sources sont petites, et les mesures de leur taille et de leur structure nécessitent souvent des observations utilisant la technique d'interférométrie à très grande base (VLBI).

### 7.1.3 Critères de protection requis

#### 7.1.3.1 Bande 1 400-1 427 MHz

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations radioastronomiques sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Les niveaux seuils gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais la capacité en canaux du télescope est alors réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages ne peut être mise en œuvre.

Dans la bande 1 400-1 427 MHz, pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectroscop) de 20 kHz, le niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Pour faire des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité de la largeur de bande de 27 MHz, auquel cas le niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Les observations VLBI, pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrées et corrélées après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qui atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz.

#### **7.1.3.2 Bande 1 610,6-1 613,8 MHz**

Dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faite en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectroscop) de 20 kHz, le niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

#### **7.1.4 Caractéristiques de fonctionnement**

La bande 1 400-1 427 MHz est celle qui est la plus intensément utilisée de toutes les bandes de radioastronomie. Elle est utilisée dans le monde entier, dans toutes les Régions de l'UIT, et certains radiotélescopes, comme le Radiotélescope à synthèse d'ouverture de l'Observatoire de radioastrophysique du Dominion (DRAO) de Penticton (Canada), observent en permanence dans cette bande. Des radiotélescopes à une seule antenne sont utilisés pour mesurer la densité spectrale de puissance intégrée de sources de petit diamètre angulaire et pour cartographier les structures de grande taille angulaire qui ne peuvent être cartographiées à l'aide des télescopes à synthèse d'ouverture.

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées sur un certain nombre de sites de radioastronomie de nombreux pays, dans le monde entier. Ces observations sont parfois effectuées sur des «cibles d'opportunité», par exemple, sur des objets comme les comètes, dont on a observé qu'elles produisent des rayonnements transitoires dans cette raie. Des observations VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande, parfois entre les réseaux VLBI nord américain et européen.

La forte résolution angulaire offerte par les télescopes à synthèse d'ouverture permet de cartographier la structure très fine des nuages d'hydrogène et des sources des émissions dans le continuum, comme les restes de supernova. Ces cartes sont alors combinées avec les cartes à plus faible résolution obtenues en utilisant des radiotélescopes à antenne unique pour faire des images en

trois dimensions de haute qualité de notre galaxie ou des autres. Les radiotélescopes à synthèse d'ouverture qui utilisent plusieurs antennes-réseau, peuvent avoir besoin de une à douze «expositions» de douze heures pour faire une cartographie complète d'une zone stellaire.

Pour faciliter la cartographie de structures de sources relativement grandes, certains radiotélescopes à synthèse d'ouverture, comme le radiotélescope DRAO, utilisent des antennes-réseau relativement petites. Les instruments de cette sorte ne disposent pas de l'option de suppression des lobes latéraux optimum et sont donc plus vulnérables aux brouillages.

Les observations de raies spectrales sont faites en utilisant des spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement de 256 à 4 096) canaux de fréquences répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par un ou des nuages d'hydrogène dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle. Dans le cas d'émissions du continuum, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, le rayonnement provenant de la source est dissocié d'autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les émissions de raies présentant un intérêt (spectres de raies), puis à une fréquence qui est décalée par rapport à la fréquence des émissions de raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raie, les contributions de bruit non désirées et d'autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Dans la mesure où la galaxie est remplie de nuages d'hydrogène neutre, les radiotélescopes ne détectent pas que les rayonnements ou l'absorption par les nuages dans le faisceau principal de l'antenne, mais aussi des rayonnements très importants par les lobes latéraux de l'antenne. Ce «rayonnement parasite» crée une distorsion du spectre et réduit les détails de la carte. Pour le supprimer des données il faut faire des mesures à grande échelle sur la totalité du faisceau de l'antenne (dans la mesure du possible), et évaluer la correction du rayonnement parasite. Les brouillages et de grandes étendues du ciel «occultées» vont donc affecter la capacité à cartographier de grands angles de parties du ciel à partir des sources de brouillage.

On peut cartographier une zone étendue de rayonnement radioélectrique en enregistrant ce rayonnement à partir d'une grille de points couvrant la région concernée. On peut faire aussi bien des observations du continuum que des observations de raies spectrales. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation de point de la grille est une indication de la puissance totale (dans le cas d'observations du continuum) ou du spectre d'émission (dans le cas d'observations de raies spectrales) provenant de cette position du ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à l'ouverture à mi-puissance du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points de la grille ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base, les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que

l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## **7.2 Service mobile par satellite**

### **7.2.1 Bande d'émission attribuée**

La bande d'émission attribuée est la bande 1 525-1 559 MHz (espace vers Terre).

Le numéro 5.356 du RR dispose que: «L'utilisation de la bande 1 544-1 545 MHz par le service mobile par satellite (espace vers Terre) est limitée aux communications de détresse et de sécurité (voir l'Article 31)».

### **7.2.2 Application**

Les bandes 1 525-1 544 MHz et 1 545-1 559 MHz ne sont utilisées que par des systèmes OSG et en raison des caractéristiques des antennes des stations terriennes du SMS (antenne équidirective), il sera difficile pour les systèmes non OSG d'utiliser ces bandes. Toutefois, la Recommandation UIT-R M.1184 donne les caractéristiques d'un système non OSG du SMS qui peut utiliser ces bandes.

La bande 1 544-1 545 MHz est depuis de nombreuses années utilisée par le système mondial par satellite de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat. Cospas-Sarsat est un système à satellites conçu pour transmettre des alertes de détresse ainsi que des données de localisation afin de faciliter les opérations de recherche et de sauvetage (SAR); pour ce faire, il utilise des moyens spatiaux et des moyens au sol afin de détecter et de localiser les signaux émis par des radiobalises de détresse fonctionnant sur la fréquence 406 MHz ou la fréquence 121,5 MHz. Des satellites non OSG (système LEOSAR) retransmettent sur la fréquence 1 544,5 MHz les signaux envoyés sur la fréquence 121,5 MHz ainsi que les données extraites des signaux envoyés sur la fréquence 406 MHz, en vue de leur traitement au sol.

### **7.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

L'affaiblissement requis est de  $43 + 10 \log P$  ou 60 dBc, la valeur la moins stricte étant celle retenue, où  $P$  est la puissance de crête fournie à l'antenne (W) dans une largeur quelconque de bande de 4 kHz.

### **7.2.4 Caractéristiques de fonctionnement**

#### **7.2.4.1 Système G du SMS basé sur la Recommandation UIT-R M.1184**

TABLEAU 14

**Caractéristiques techniques des systèmes non OSG du service  
mobile par satellite (liaison aller de service)**

Paramètre du système	Système G	
	Liaison 1	Liaison 2
<i>Polarisation</i>		
Liaison de connexion	Polarisation circulaire lévogyre	Polarisation circulaire lévogyre
Liaison de service	Polarisation circulaire dextrogyre	Polarisation circulaire dextrogyre
Sens de transmission	Espace vers Terre	Espace vers Terre
<i>Bandes de fréquences (GHz)</i>		
Liaison de connexion	14	14
Service	0,4	1,5
Orbite	Circulaire	Circulaire
Altitude (km)	1 500	1 500
Espacement entre les satellites (degrés)	30	30
Nombre de satellites	48	48
Plans orbitaux	4	4
Angle d'inclinaison (degrés)	74	74
<i>Antennes de satellite</i>		
Nombre de faisceaux (liaison de service)	1	6
Taille du faisceau (km <sup>2</sup> )	$5 \times 10^7$	$8,4 \times 10^6$
Lobes latéraux du faisceau moyen (dB)	-3	-2
Réutilisation de fréquence dans le faisceau	1	0,6
<i>Caractéristiques de la liaison</i>		
p.i.r.e. maximale/faisceau (dBW)	-2	2,8
Gain moyen/faisceau (dBi)	3	13
p.i.r.e./porteuse (dBW)	-15	-7,2
p.i.r.e. d'utilisateur sans occultation (dBW)	Sans objet	Sans objet
p.i.r.e. d'utilisateur avec occultation (dBW)	Sans objet	Sans objet
p.i.r.e./canal AMRC (dBW)	-5	-10,2
G/T d'utilisateur (dB(K <sup>-1</sup> ))	-23,8	-14
Angle d'élévation minimal (degrés)	7	10
<i>Paramètres de transmission</i>		
Modulation	MDP-4	MDP-4
Codage	CED	CED
Système d'accès	AMRF/AMRC	AMRF/AMRC
Duplex	Intégral	Intégral
Longueur de trame (ms)	Sans objet	Sans objet
Débit de salves (kbit/s)	Sans objet	Sans objet

### 7.2.4.2 COSPAS-SARSAT

Bien que la constellation LEOSAR nominale ne comporte que quatre satellites (deux satellites COSPAS et deux satellites SARSAT), les satellites pris en compte dans l'étude comprennent deux satellites russes ayant une charge utile COSPAS, à savoir NADEZHDA-1 et NADEZHDA-6 ainsi que cinq satellites américains avec une charge utile SARSAT, à savoir les NOAA-14 à 18. Le Tableau 15 donne les caractéristiques orbitales de ces satellites.

TABLEAU 15

#### Caractéristiques des satellites du système COSPAS SARSAT

Nom de la charge utile	Nom du satellite	Date de lancement	Altitude (km)	Inclinaison (degrés)	Anomalie moyenne (degrés)	Ascension droite du nœud ascendant (degrés)
COSPAS-4	NADEZHDA-1	1989	1 000	82,96	302	151
COSPAS-9	NADEZHDA-6	2000	689	98,38	131	219
SARSAT-6	NOAA-14	1994	863	99,08	204	289
SARSAT-7	NOAA-15	1998	825	98,51	213	245
SARSAT-8	NOAA-16	2000	862	99,02	134	198
SARSAT-9	NOAA-17	2002	824	98,65	155	312
SARSAT-10	NOAA-18	2005	868	98,75	22	184

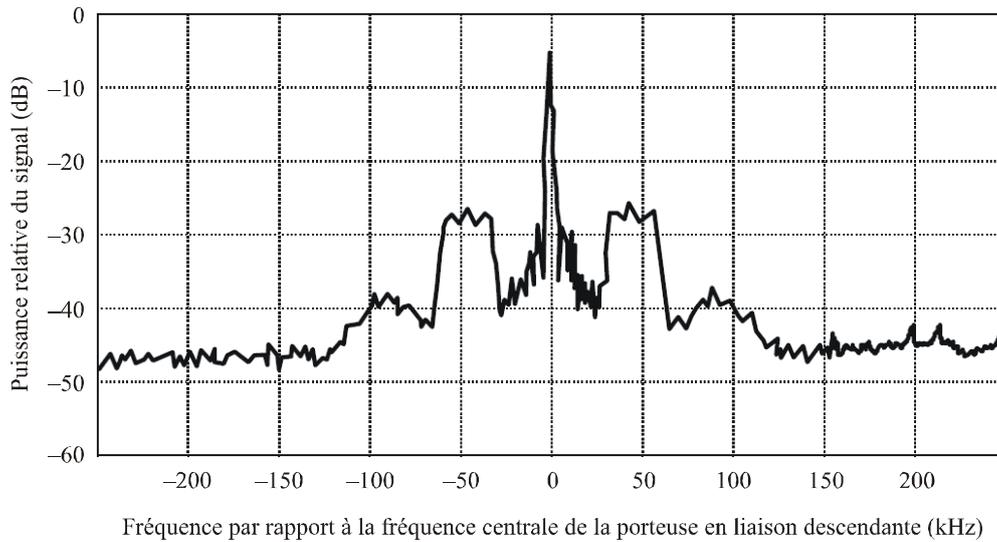
Les spécifications des charges utiles sont disponibles sur le site web COSPAS-SARSAT à l'adresse: <http://www.cospas-sarsat.org/DocumentsTSeries/T3OCT03.pdf>. Le présent document contient les spécifications relatives au niveau des rayonnements non essentiels et aux diagrammes d'antenne des charges utiles COSPAS et SARSAT.

#### 7.2.4.2.1 COSPAS

La Fig. 25 donne le spectre type du signal COSPAS dans la largeur de bande qui lui a été attribuée. Le niveau des rayonnements non essentiels COSPAS est limité à  $-60$  dBW. Toutefois, aucune largeur de bande de référence n'est donnée. La Fig. 26 donne le diagramme d'antenne de la liaison descendante COSPAS.

FIGURE 25

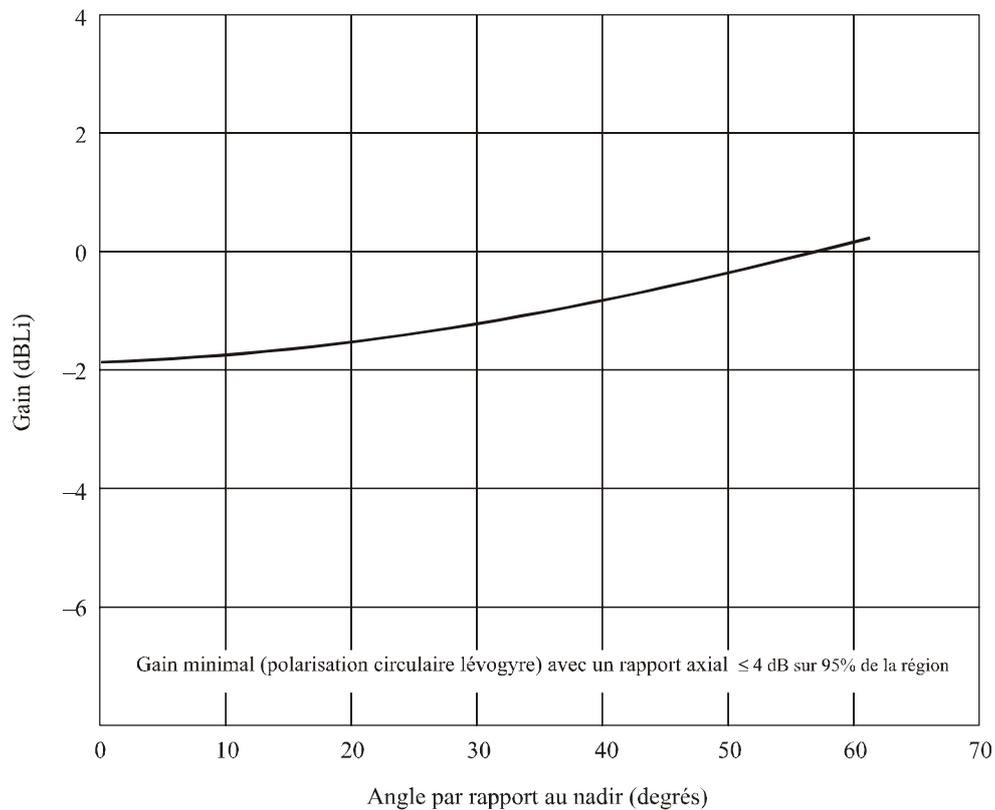
Spectre du signal COSPAS à 1 544,5 MHz



Rap 2091-25

FIGURE 26

Diagramme d'antenne COSPAS



Rap 2091-26

#### 7.2.4.2.2 SARSAT

La Fig. 27 donne le spectre type du signal SARSAT dans la largeur de bande qui lui a été attribuée. Le niveau des rayonnements non désirés SARSAT est limité aux gabarits donnés dans les Fig. 28 et 29, respectivement pour des émissions discrètes et des émissions assimilables à du bruit.

Toutefois, aucune largeur de bande de référence n'est donnée dans le cas d'émissions discrètes. La Fig. 30 donne le diagramme d'antenne de la liaison descendante SARSAT.

FIGURE 27  
Spectre du signal SARSAT à 1 544,5 MHz

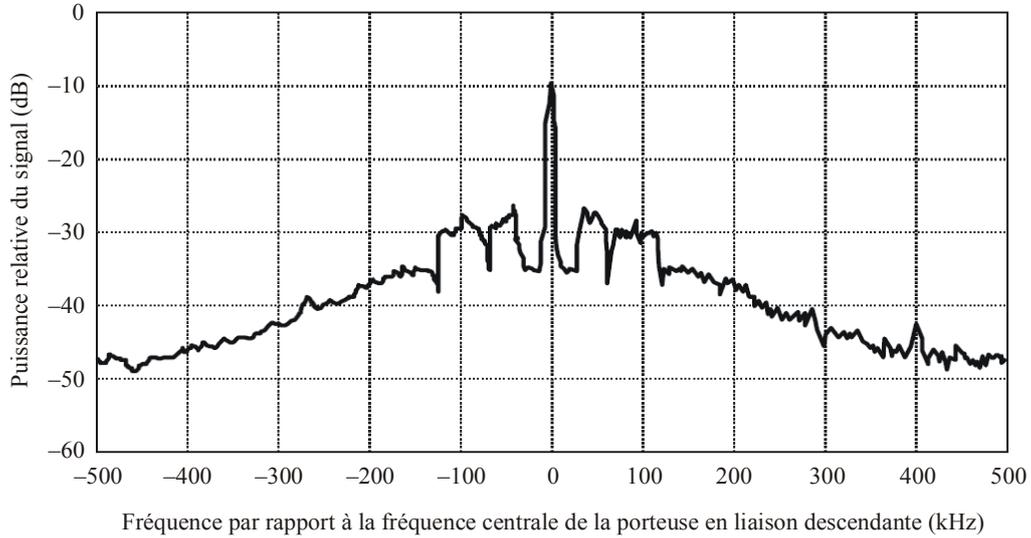


FIGURE 28  
Limites des rayonnements non désirés discrets

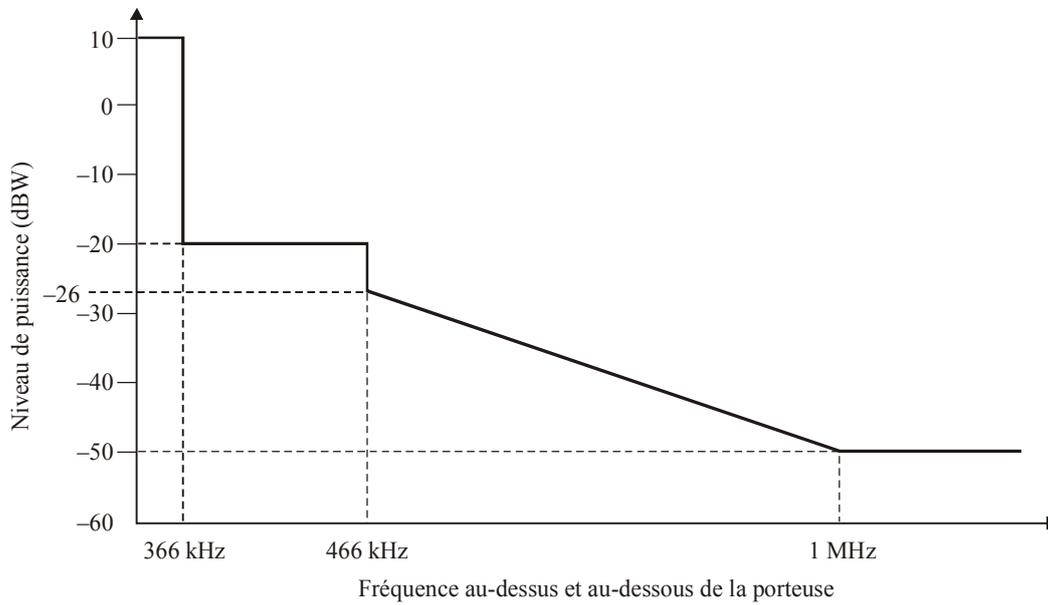
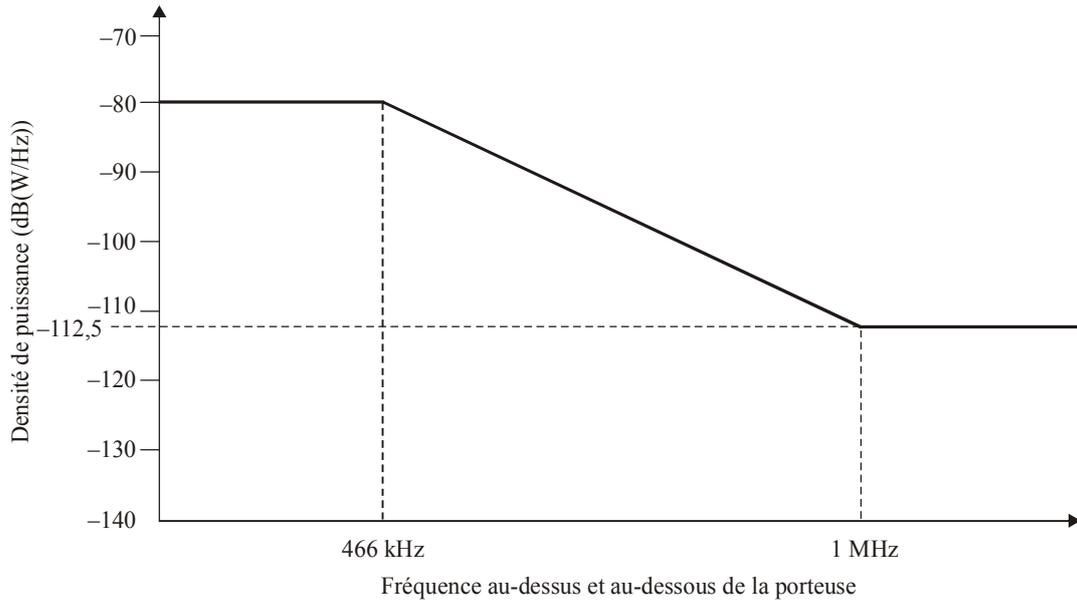


FIGURE 29

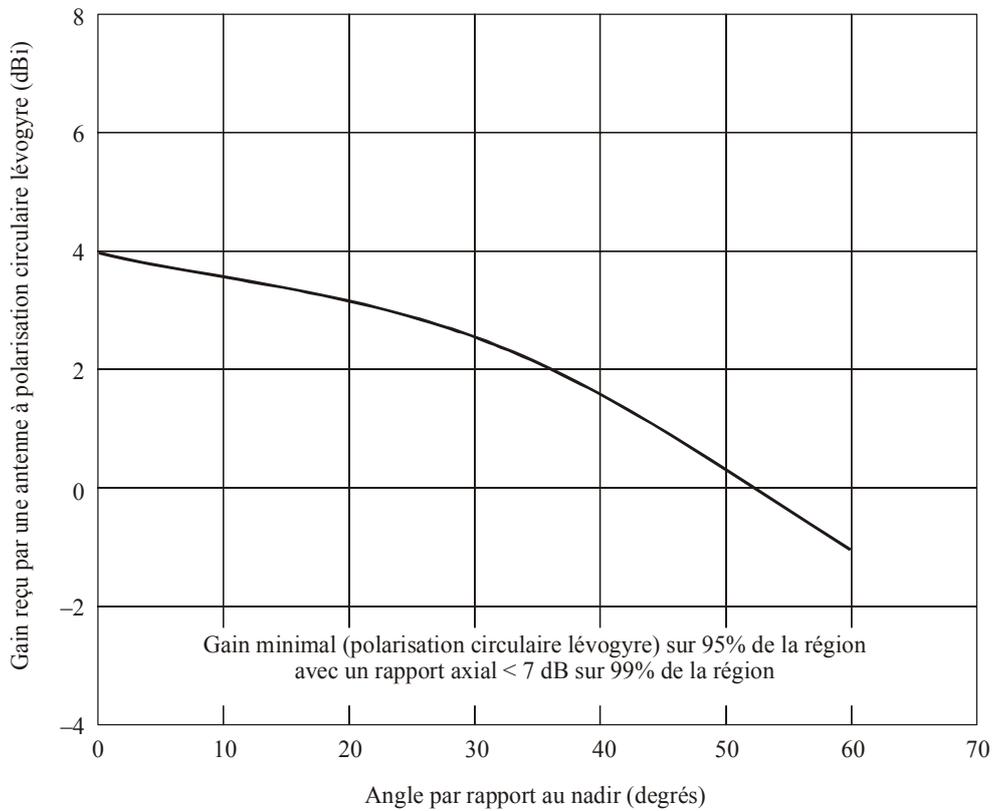
Limites des rayonnements non désirés assimilables à du bruit



Rap 2091-29

FIGURE 30

Diagramme de rayonnement d'antenne SARSAT



Rap 2091-30

### 7.3 Seuil de compatibilité

Dans le cas de constellations non OSG, un seuil de puissance efd peut être calculé à partir du seuil de puissance surfacique donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain d'antenne maximal donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, lequel est de 63 dBi pour la bande de fréquences considérée. Le seuil de puissance efd pour la bande 1 400-1 427 MHz est donc de  $-243$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) dans la totalité de la bande pour les observations du continuum avec une seule antenne parabolique; il est de  $-259$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande 1 400-1 427 MHz pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique et de  $-258$  (dB(W/m<sup>2</sup>)) dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande 1 610,6-1 613,8 MHz pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique.

### 7.4 Evaluation du brouillage

#### 7.4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R M.1583 donne une méthode permettant d'évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système non OSG sur les sites de radioastronomie. Elle est basée sur une division du ciel en cellules de taille pratiquement égale et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation de satellite sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une moyenne du niveau des rayonnements non désirés (sous forme d'une puissance efd) est établie sur une période de 2 000 s.

Le diamètre de l'antenne de radioastronomie est de 100 m, ce qui correspond à un gain d'antenne maximal d'environ 63 dBi dans la bande 1 400-1 427 MHz et d'environ 64 dBi dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz. Le diagramme de rayonnement d'antenne et le gain d'antenne maximal sont ceux de la Recommandation RA.1631.

Les coordonnées géographiques choisies sont les suivantes:

Latitude: 46,9°      Longitude: 2,4°

Les simulations ont été réalisées avec un angle d'élévation de 0° afin d'obtenir des résultats parfaitement généraux.

#### 7.4.2 Calcul du niveau de brouillage

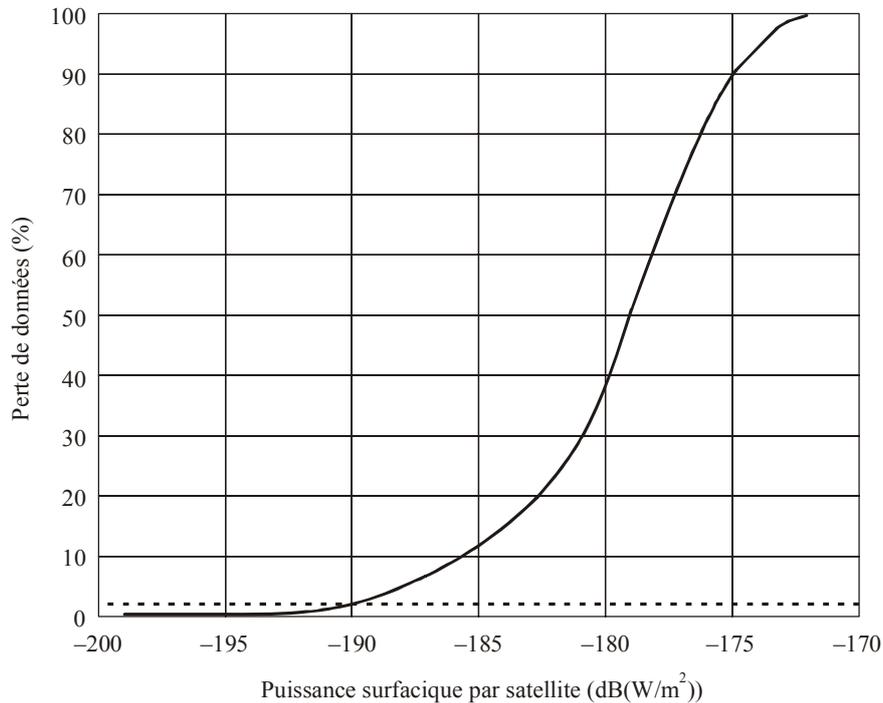
##### 7.4.2.1 Observations du continuum dans la bande 1 400-1 427 MHz

###### 7.4.2.1.1 Système G du SMS basé sur la Recommandation UIT-R M.1184

La Fig. 31 donne le pourcentage de temps pendant lequel le seuil de puissance efd est dépassé sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite du SMS donnée (comme expliqué dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte des données).

FIGURE 31

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie



Rap 2091-31

Pour que le seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système G du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 32 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le seuil de puissance epfd est dépassé.

L'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut croît d'ouest en est.

#### 7.4.2.1.2 COSPAS-SARSAT

La Fig. 33 indique le pourcentage de temps pendant lequel le seuil de puissance epfd est dépassé sur le site de radioastronomie, pour une valeur de puissance surfacique par satellite donnée (comme expliqué dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

FIGURE 32

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une valeur de puissance surfacique de  $-190 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  sur le site de radioastronomie

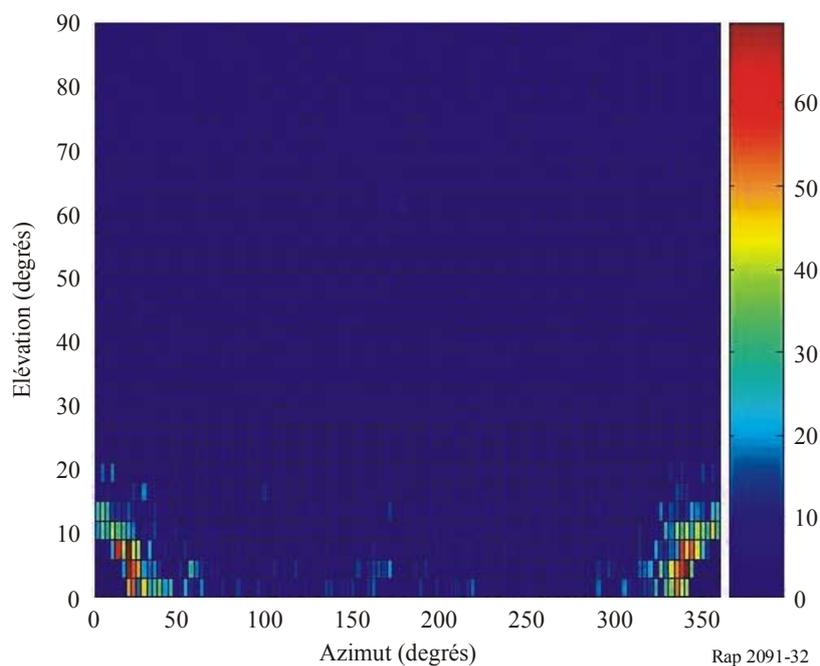
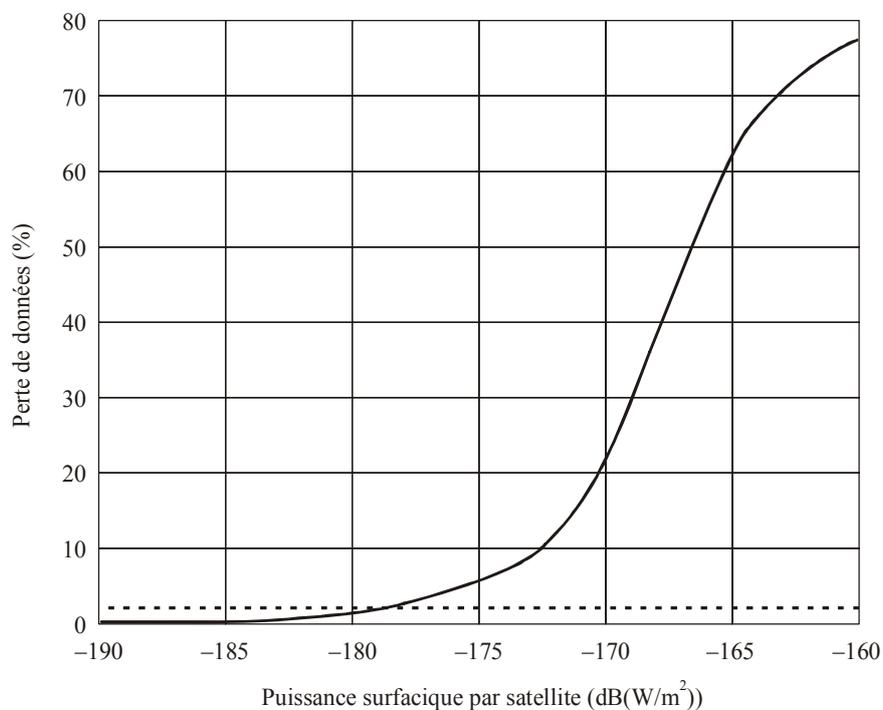


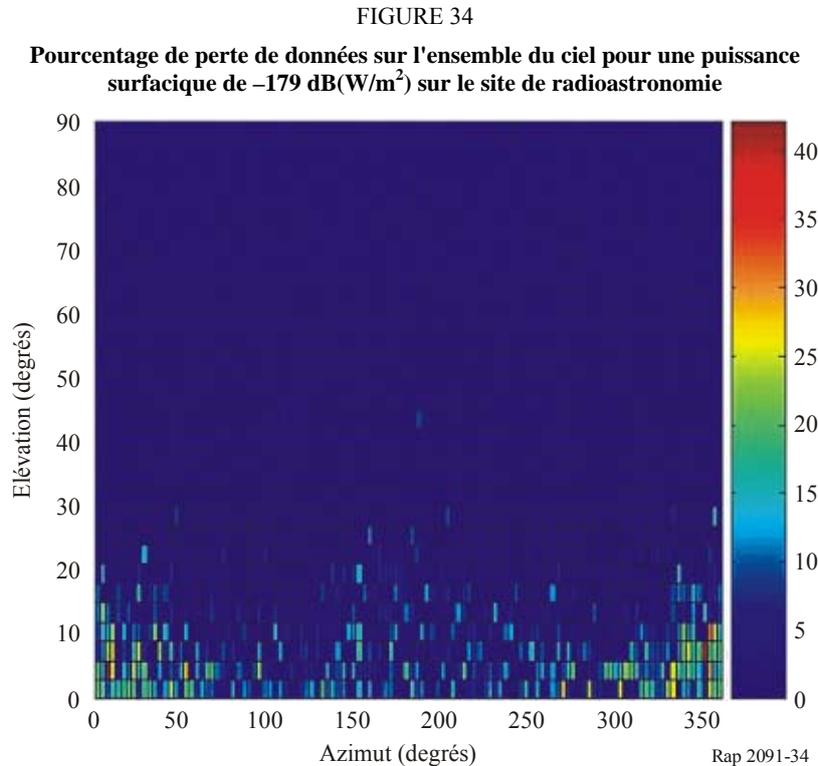
FIGURE 33

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite sur le site de radioastronomie



Pour que le seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite LEOSAR devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-179 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 34 indique, pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-179 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , le pourcentage de temps pendant lequel le seuil de puissance epfd est dépassé. L'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut croît d'ouest en est.



#### 7.4.2.2 Observations de raies spectrales dans la bande 1 400-1 427 MHz

Cette valeur de puissance surfacique par satellite peut être directement déduite, sans d'autres simulations, de la valeur requise pour les observations du continuum, en utilisant la formule suivante:

$$pfd_{spectral} = pfd_{continuum} + epfd_{spectral} - epfd_{continuum} \quad (10)$$

Pour que le seuil de puissance epfd de  $-259 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande de 20 kHz soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système G du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-206 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande de radioastronomie et chaque satellite COSPAS-SARSAT devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande de radioastronomie.

#### 7.4.2.3 Observations de raies spectrales dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz

La puissance reçue par le récepteur de la station de radioastronomie qui sera comparée avec le niveau seuil de brouillage gênant est:

$$P = average(pfd) \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot \sum_{i=1}^n G_i \quad (11)$$

où:

$P$ : est la puissance reçue dans la largeur de bande de radioastronomie (W)

- $pdf$ : est la puissance surfacique rayonnée par un satellite au niveau de la station de radioastronomie dans la largeur de bande de radioastronomie (supposée constante) ( $W/m^2$ )
- $\lambda$ : est la longueur d'onde (m)
- $n$ : est le nombre de satellites en visibilité et en activité
- $G_i$ : est le gain de l'antenne de radioastronomie dans la direction du satellite  $i$ .

La moyenne est calculée sur la période d'observation de radioastronomie de 2 000 s.

Il ressort de cette équation que la différence d'une fréquence à l'autre est déterminée par la valeur de  $\lambda$ , le gain de l'antenne du radiotélescope, le niveau seuil de brouillage gênant et les conditions de propagation. Une étude réalisée par le GT 7D de l'UIT-R a déjà montré que le gain de l'antenne n'a pratiquement pas d'influence sur les résultats: c'est pourquoi on choisit un diamètre d'antenne de 100 m pour toutes les fréquences dans toutes les études. Par ailleurs, pour les fréquences considérées ici, les conditions de propagation ne varient pas beaucoup. On peut donc considérer que la différence de puissance surfacique par satellite, d'une fréquence à une autre, sera essentiellement due à la longueur d'onde et au niveau seuil de brouillage gênant.

On peut donc écrire:

$$pdf_2 \approx pdf_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) = pdf_1 + P_2 - P_1 + 20 \log\left(\frac{f_2}{f_1}\right) \quad (12)$$

où:

- $pdf_1$ : est la puissance surfacique par satellite à respecter à la fréquence 1 ( $dB(W/m^2)$ )
- $pdf_2$ : est la puissance surfacique par satellite à respecter à la fréquence 2 ( $dB(W/m^2)$ )
- $P_1$ : est le niveau seuil de brouillage gênant à la fréquence 1 ( $dBW$ )
- $P_2$ : est le niveau seuil de brouillage gênant à la fréquence 2 ( $dBW$ )
- $f_1$ : fréquence 1 (MHz)
- $f_2$ : fréquence 2 (MHz).

Pour que le seuil de puissance  $epfd$  de  $-258$   $dB(W/m^2)$  dans une largeur de bande de 20 kHz soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite du système G du SMS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-205$   $dB(W/m^2)$  dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande de radioastronomie et chaque satellite COSPAS-SARSAT devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-193$   $dB(W/m^2)$  dans une largeur de bande quelconque de 20 kHz de la bande de radioastronomie.

### 7.4.3 Valeurs obtenues

Les rayonnements non désirés des satellites non OSG du SMS utilisant la bande 1 525-1 559 MHz qui passent dans les bandes 1 400-1 427 MHz et 1 610,6-1 613,8 MHz attribuées à la radioastronomie tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

#### 7.4.3.1 Système G du SMS basé sur la Recommandation UIT-R M.1184

Le Tableau 16 donne une évaluation de la puissance surfacique rayonnée par le système G du SMS au niveau d'une station de radioastronomie, sur la base du gabarit des rayonnements non essentiels donné dans l'Appendice 3 du Règlement des radiocommunications.

TABLEAU 16

**Affaiblissement des réseaux non OSG du SMS dans la bande 1 525-1 559 MHz  
nécessaire pour atteindre le niveau de puissance epfd gênant**

<b>Système G</b>	
p.i.r.e. par faisceau et par porteuse dans la bande du SMS (dBW)	-7,2
Puissance surfacique dans la bande du SMS (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-141,7
Gain de l'antenne (dBi)	13,0
Puissance d'émission par faisceau et par canal dans la bande du SMS (dBW)	-20,2
43 + 10 log P	22,8
Affaiblissement des rayonnements non essentiels (Appendice 3 du RR) (dBc dans une largeur de bande de 4 kHz)	22,8
Niveau des rayonnements non essentiels (Appendice 3 du RR) (dB(W dans une largeur de bande de 4 kHz))	-43
Niveau des rayonnements non essentiels dans la bande 1 400-1 427 MHz (dBW)	-5
Puissance surfacique des rayonnements non essentiels dans la bande de radioastronomie (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-126
Puissance surfacique requise dans la bande passive (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-206

Il est à noter que pour calculer la quantité totale de rayonnements non désirés dans la bande de radioastronomie, on a considéré que le niveau de ces rayonnements était constant dans l'ensemble de la bande de radioastronomie. Cette hypothèse très stricte n'est bien sûr pas représentative de la réalité car les rayonnements non essentiels s'observent généralement à certaines fréquences discrètes. Par conséquent, d'autres travaux sont nécessaires pour tenir compte de cette composante «discrète» des rayonnements non essentiels afin d'obtenir des niveaux des rayonnements non désirés du SMS plus réalistes dans la bande de radioastronomie.

La même remarque est valable pour la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

#### **7.4.3.2 COSPAS-SARSAT**

Un calcul de la puissance surfacique rayonnée au sol par les deux systèmes est donné dans les Tableaux 17 (cas du nadir) et 18 (cas de l'horizon).

Aucune largeur de bande de référence n'est donnée dans les spécifications du système SARSAT ou du système COSPAS dans le cas de rayonnements non essentiels de type discret. Toutefois, le fabricant des charges utiles SARSAT a fourni certaines informations. Les mesures des rayonnements non essentiels se font dans une largeur de bande de référence de 10 kHz. La même hypothèse à être prise pour le système COSPAS.

TABLEAU 17

**Puissance surfacique maximale rayonnée au nadir**

Systeme	Niveau des rayonnements non essentiels (dBW)	Largeur de bande de référence (kHz)	Altitude (km)	Gain d'antenne (dBi)	Puissance surfacique maximale (dB(W/m <sup>2</sup> ))
SARSAT	-38	27 000	825	4	-164
	-47	20	825	4	-172
COSPAS	-57	20	1 000	-2	-190
	-57	20	690	-2	-187

TABLEAU 18

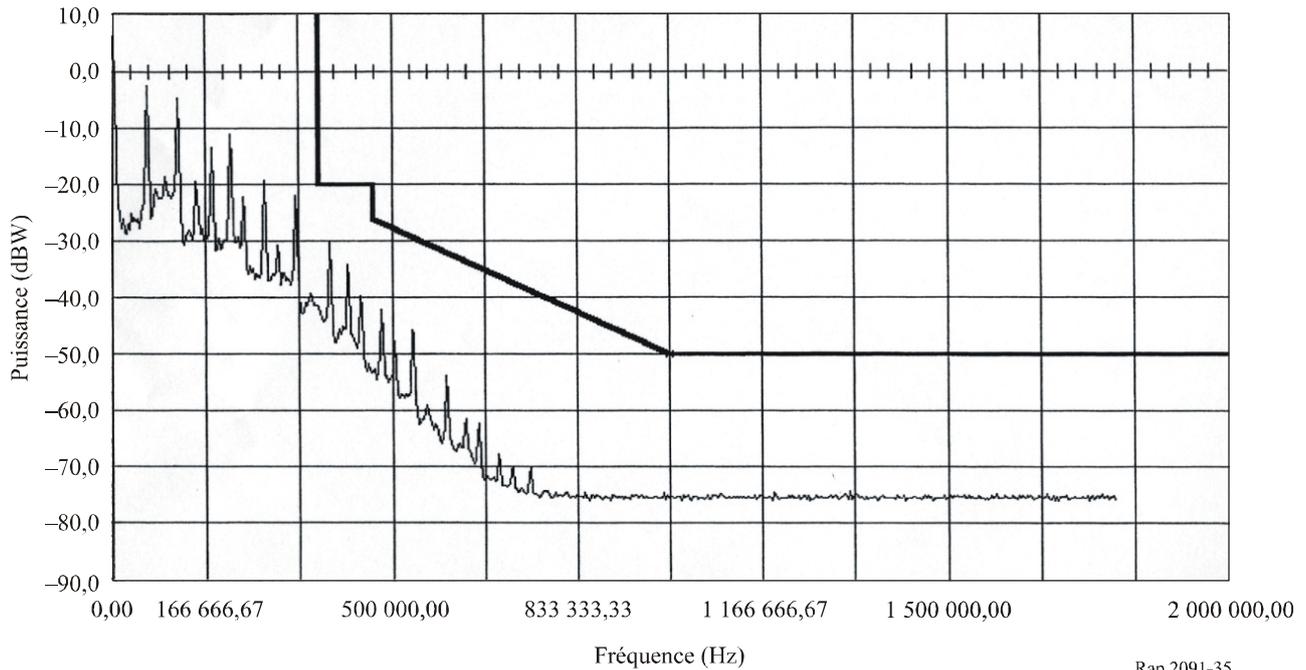
**Puissance surfacique maximale rayonnée à un angle hors axe de 60° (horizon)**

Systeme	Niveau des rayonnements non essentiels (dBW)	Largeur de bande de référence (kHz)	Pente (km)	Gain d'antenne gain (dBi)	Puissance surfacique maximal (dB(W/m <sup>2</sup> ))
SARSAT	-38	27 000	2 272	-1	-177
	-47	20	2 272	-1	-186
COSPAS	-57	20	2 973	0	-197
	-57	20	1 792	0	-193

La Fig. 35 a été fournie par le fabricant des charges utiles SARSAT. Elle montre que le niveau des rayonnements non essentiels est en fait de 25 dB inférieur aux spécifications. La puissance surfacique effective rayonnée au sol dans les bandes de radioastronomie serait donc de 25 dB inférieure aux valeurs données dans les Tableaux 17 et 18. On peut donc considérer qu'il est possible de respecter le niveau de puissance surfacique par satellite indiqué au § 7.4.2 sans imposer de contraintes excessives à la charge utile. Etant donné que les charges utiles SARSAT représentent le cas le plus défavorable, la même conclusion s'applique aux charges utiles COSPAS.

FIGURE 35

## Mesure des rayonnements non désirés SARSAT



Rap 2091-35

## 7.5 Techniques de réduction des brouillages pour le service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour  $G/T$ , c'est-à-dire le gain divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou en fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

## 7.6 Résultats des études

### 7.6.1 Résumé

Le Tableau 19 ci-après récapitule les niveaux seuil de puissance  $epfd$  et de puissance surfacique nécessaires pour protéger les stations de radioastronomie vis-à-vis des rayonnements non désirés des charges utiles COSPAS-SARSAT dans la bande 1 544-1 545 MHz.

TABLEAU 19

**Niveaux seuils requis pour protéger le service de radioastronomie vis-à-vis des rayonnements non désirés des systèmes COSPAS-SARSAT**

<b>Bande de radioastronomie (MHz)</b>	<b>Type d'observations</b>	<b>Largeur de bande de référence</b>	<b>Seuil de puissance epfd (dB(W/m<sup>2</sup>))</b>	<b>Seuil de puissance surfacique par satellite (dB(W/m<sup>2</sup>))</b>
1 400-1 427	Continuum	27 MHz	-243	-179
1 400-1 427	Raie spectrale	20 kHz	-259	-194
1 610,6-1 613,8	Raie spectrale	20 kHz	-258	-193

Si l'on tient compte des spécifications des charges utiles COSPAS et SARSAT, il apparaît que la puissance surfacique produite au sol et dans les bandes de radioastronomie par les rayonnements non désirés dépasse le niveau seuil de puissance surfacique par satellite donné dans le Tableau 17, de 2 à 13 dB pour les observations du continuum et de 5 à 22 dB pour les observations de raies spectrales.

Toutefois, les bandes attribuées à la radioastronomie sont situées à 65 MHz et à 117 MHz de la bande COSPAS-SARSAT. Par ailleurs, le niveau des rayonnements non désirés effectivement mesuré sur les charges utiles SARSAT est inférieur d'environ 25 dB aux spécifications. Les charges utiles SARSAT respectent donc les limites de puissance surfacique données dans le Tableau 17. Etant donné que les charges utiles SARSAT représentent le cas le plus défavorable, cette conclusion est également vraie pour les systèmes COSPAS.

### 7.6.2 Conclusions

Il est possible de respecter le niveau de puissance surfacique par satellite donné dans le Tableau 19 sans imposer de contraintes supplémentaires au système COSPAS-SARSAT.

## 8 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 452-1 492 MHz

### 8.1 Service de radioastronomie

#### 8.1.1 Bande attribuée

La bande 1 400-1 427 MHz est attribuée uniquement à des services passifs, à titre primaire, à savoir, le service de radioastronomie, le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et le service de recherche spatiale (passive).

Le numéro 5.340 du RR interdit toutes les émissions dans cette bande.

#### 8.1.2 Type d'observations

La bande 1 400-1 427 MHz est utilisée plus intensément que toute autre dans toutes les Régions de l'UIT-R. La principale utilisation en radioastronomie de cette bande est de faire des observations de raies spectrales d'atomes d'hydrogène neutre dans le cosmos (désigné aussi par HI), qui a une fréquence de repos de 1 420,406 MHz. Cet élément est de loin le principal constituant de notre galaxie et d'autres galaxies, et il est présent dans d'énormes nuages de structure complexe. Cette raie est observée à la fois en émission et en absorption, et elle est élargie et décalée en fréquence par des

effets Doppler dus à des mouvements isolés ou massifs des structures nuageuses. Par conséquent, les observations de HI peuvent être utilisées pour cartographier la distribution de la matière et de ses mouvements dans notre galaxie et dans d'autres galaxies. De cette façon, nous pouvons cartographier la structure de notre galaxie et les mouvements de la matière.

L'attribution de la bande 1 400-1 427 MHz est suffisamment large pour englober les émissions décalées par l'effet Doppler qui sont rayonnées par des nuages dans notre galaxie et dans des galaxies voisines. Les mesures de la polarisation de l'émission ou de l'absorption de HI donnent d'importantes informations sur les champs magnétiques galactiques et permettent donc d'améliorer notre compréhension de la structure des galaxies.

La bande 1 400-1 427 MHz est aussi utilisée pour les observations du continuum des émissions large bande produites par les plasmas chauds formés lorsque des étoiles chauffent des nuages environnants et par l'interaction d'électrons à haute énergie dans le champ magnétique galactique (rayonnement synchrotron).

### 8.1.3 Critères de protection requis

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie sont indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.769, qui donne la liste des niveaux de rayonnements non désirés qui feront augmenter de 10% l'erreur de mesure. La bande est utilisée à la fois pour les observations de raies spectrales et pour celles du continuum. Dans la bande 1 400-1 427 MHz, pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectroscopie) de 20 kHz, le seuil de la puissance surfacique est de  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Pour faire des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité de la largeur de bande de 27 MHz, auquel cas le seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Les observations VLBI, pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées, enregistrées et corrélées après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qu'atteste le seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz.

Les seuils des niveaux de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation, mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et elle ne pourra pas assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée ne peut être mise en œuvre.

### 8.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

La bande 1 400-1 427 MHz est celle qui est la plus intensément utilisée de toutes les bandes de radioastronomie. Elle est utilisée dans le monde entier, dans toutes les Régions de l'UIT, et certains radiotélescopes, comme le Radiotélescope à synthèse d'ouverture de l'Observatoire de radioastrophysique du Dominion (DRAO) de Penticton (Canada), observent en permanence dans cette bande. Des radiotélescopes à une seule antenne sont utilisés pour mesurer la densité spectrale de puissance intégrée de sources de petit diamètre angulaire et pour cartographier les structures de

grande taille angulaire qui ne peuvent être cartographiées avec des télescopes à synthèse d'ouverture.

La forte résolution angulaire offerte par les télescopes à synthèse d'ouverture permet de cartographier la structure très fine des nuages d'hydrogène et des sources d'émissions dans le continuum, comme les restes de supernova. Ces cartes sont alors combinées avec les cartes à plus faible résolution obtenues en utilisant des radiotélescopes à antenne unique pour faire des images en trois dimensions de haute qualité de notre galaxie ou d'autres galaxies. Les radiotélescopes à synthèse d'ouverture qui utilisent plusieurs antennes-réseaux auront peut-être besoin d'une à douze «expositions» de douze heures pour faire une cartographie complète d'une zone stellaire. Pour faciliter la cartographie de structures de sources relativement grandes, certains radiotélescopes à synthèse d'ouverture, comme le radiotélescope DRAO, utilisent des réseaux d'antennes relativement petites. Les instruments de cette sorte ne disposent pas de l'option de suppression des lobes latéraux optimum et sont donc plus vulnérables aux brouillages.

Les observations de raies spectrales sont faites en utilisant des spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement de 256 à 4 096) canaux de fréquences répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par un ou des nuages d'hydrogène dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle. Dans le cas d'observations du continuum, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs des positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, les rayonnements provenant de la source sont dissociés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences dans lesquelles se produisent les rayonnements de raies présentant un intérêt (spectres de raies), puis à une fréquence qui est décalée par rapport à celle des émissions des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et les autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Etant donné que la galaxie est remplie de nuages d'hydrogène neutre, les radiotélescopes ne détectent pas que les rayonnements ou l'absorption par les nuages dans le faisceau principal de l'antenne, mais aussi des rayonnements très importants par les lobes latéraux de l'antenne. Ce «rayonnement parasite» induit une distorsion des spectres et réduit les détails de la carte. Pour supprimer cela des données il faut faire des mesures à grande échelle sur la totalité du faisceau de l'antenne (dans la mesure du possible) et évaluer la correction du rayonnement parasite. Les brouillages et les grandes zones du ciel «occultées» vont donc affecter la capacité à cartographier de grands angles de parties du ciel à partir des sources de brouillage.

On peut cartographier des zones étendues de rayonnement radioélectrique en enregistrant ce rayonnement à partir d'une grille de points couvrant la région concernée. On peut faire aussi bien des observations du continuum que des observations de raies spectrales. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation en un point de la grille donne une indication de la puissance totale (en cas d'observation du continuum) ou du spectre d'émission (en cas d'observation de raies spectrales) rayonné de cette position du ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à l'ouverture à mi-puissance du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être espacés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, la puissance des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur une bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## 8.2 Service de radiodiffusion par satellite

### 8.2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 452-1 492 MHz est attribuée au service de radiodiffusion par satellite (SRS).

### 8.2.2 Application

Diffusion d'émissions audio uniquement.

### 8.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Non évalués.

### 8.2.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques suivantes ont été communiquées comme étant les valeurs maximales attendues et la largeur de bande nécessaire type est fondée sur les caractéristiques des systèmes sonores du SRS déjà mis en œuvre ou les plus susceptibles de l'être. De plus, le présent document propose des valeurs types pour les gains d'antenne.

TABLEAU 20

Bande de fréquences	Système notifié	Largeur de bande nécessaire	Gain d'antenne du satellite (dBi)	Puissance surfacique maximale attendue dans la bande (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 452-1 492 MHz	Système numérique A	1,536 MHz	30	-128
	Système numérique DS	1,84 MHz	30	-138

NOTE 1 – Les résultats indiqués dans la présente Annexe sont limités aux systèmes OSG.

## 8.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 8.1.3.

## 8.4 Evaluation du brouillage

### 8.4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

En ce qui concerne les systèmes non OSG, les critères de protection pour la radioastronomie et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes SFS.

Le gabarit des émissions hors bande utilisé pour le calcul est décrit au § 8.4.3.1.

### 8.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Voir le § 8.4.3.

### 8.4.3 Valeurs obtenues

On notera que les paragraphes suivants ne concernent que les systèmes OSG.

#### 8.4.3.1 Observations de raies spectrales

Sur la base de la largeur de bande nécessaire donnée dans le Tableau 20, et de l'espacement entre les bandes attribuées au SRS et au service passif, il apparaît que, pour l'attribution au SRS, la limite des rayonnements non essentiels:  $43 + 10 \log P$  ou 60 dBc s'applique, selon la valeur qui est la moins contraignante, où  $P$  est la puissance moyenne en watt fournie à la ligne d'antenne d'émission. Ceci est détaillé dans le Tableau 21.

TABLEAU 21

Attribution au SRS	Attribution au service passif la plus proche	Système notifié	Largeur de bande nécessaire	Début du domaine des émissions hors bande	Fin du domaine des émissions hors bande	Affaiblissement nécessaire dans l'attribution au service passif
1 452-1 492 MHz	1 400-1 427 MHz	Système numérique A	1,536 MHz	1 452 MHz	1 448,928 MHz	$43 + 10 \log P$ ou 60 dBc
		Système numérique DS	1,84 MHz	1 452 MHz	1 448,32 MHz	$43 + 10 \log P$ ou 60 dBc

Le niveau attendu de rayonnements non désirés est déduit des paramètres donnés dans le Tableau 22.

TABLEAU 22

Attribution au SRS	Largeur de bande nécessaire	Puissance surfacique maximum dans la bande attendue (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))	Gain d'antenne satellite (dBi)	Puissance de sortie moyenne totale de l'émetteur (dBW)	Affaiblissement nécessaire dans l'attribution au service passif	Niveaux maximums attendus des rayonnements non désirés (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1 452-1 492	1,536	-128	30	29,8	60	-162,4
	1,84	-138	30	20,6	60	-171,4

où:

$$(4) = (2) + 162 \text{ (affaibl. en espace libre)} - (3)_{\text{dans la bande}} - 36 + 10 \log ((1))$$

Le niveau de (4) détermine l'affaiblissement nécessaire dans le cas de la limite de rayonnements non essentiels.

$$(6) = (4) - (5) + (3)_{\text{hors bande}} - 162$$

On a supposé que les gains des antennes de satellite aux fréquences de l'attribution au service passif sont les mêmes qu'aux fréquences de fonctionnement de l'attribution au service par satellite (c'est-à-dire  $(3)_{\text{dans la bande}} = (3)_{\text{hors bande}}$  avec la notation utilisée ci-dessous). On devrait garder à l'esprit que cela correspond au cas le plus défavorable.

La bande attribuée au service passif est utilisée à la fois pour les observations de raies spectrales et les observations du continuum. Les observations de raies spectrales sont faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de (normalement) 20 kHz; la valeur seuil de puissance surfacique est alors de  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Il faut comparer ce critère de protection avec les valeurs suivantes:

$$-162,4 + 10 \log((20/4)) = -155,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

et avec:

$$-171,4 + 10 \log((20/4)) = -164,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$$

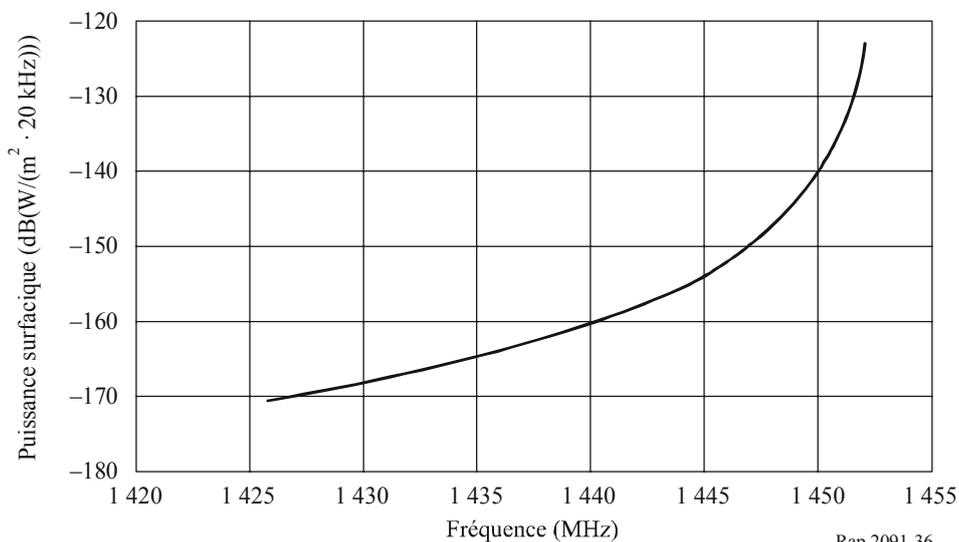
Cela signifie qu'à la fin du domaine des émissions hors bande, l'écart entre le critère de protection et la limite des rayonnements non essentiels est de l'ordre de 40 dB. Etant donné que la fin du domaine des émissions hors bande se situe à 1 448,928 MHz et que la bande attribuée au service de radioastronomie commence à 1 427 MHz (plus de 10 fois la largeur de bande nécessaire), on peut penser qu'au début de ladite bande, l'écart entre le niveau des rayonnements non essentiels et le critère de protection sera beaucoup plus faible.

En particulier, si on suppose, par hypothèse, que la diminution de l'intensité du signal, dans le domaine des rayonnements non essentiels, va suivre le nouveau gabarit des émissions hors bande élaboré pour le système du SRS (Recommandation UIT-R SM.1541), l'affaiblissement sera alors donné par:

$$32 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

FIGURE 36

Niveau de puissance surfacique intégré sur 20 kHz en fonction de la fréquence



Rap 2091-36

Dans un tel cas, l'écart en bordure de la bande attribuée au service de radioastronomie est d'environ 25 dB (environ 20 dB dans le cas du système numérique DS). Ce brouillage persistant devrait être évité par la mise en œuvre de techniques de réduction des brouillages supplémentaires (isolement géographique et filtrage).

### 8.4.3.2 Observations VLBI

Les observations VLBI, dans lesquelles des signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qu'atteste le niveau de seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz.

Selon le calcul effectué au § 8.4.3.1, les critères de protection VLBI ne seront vraisemblablement pas respectés.

### 8.4.3.3 Observations du continuum

Pour faire des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité de la largeur de bande de 27 MHz, auquel cas la valeur du seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

En prenant en compte les deux systèmes donnés dans le Tableau 20 le niveau maximum de puissance surfacique dans la bande est:

$$-128 + 10 \log_{10} (1,536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz}) = -102 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1,536 \text{ MHz}/4 \text{ kHz))}$$

Si la décroissance du signal émis par le système considéré est semblable à celle proposée par le GT 4A dans le Document 1-7/149, alors la réjection entre la puissance dans la bande et la puissance intégrée au-dessus de 27 MHz sera supérieure à 80 dB. Cela signifie que le critère de protection pour les observations du continuum sera respecté et confirme aussi que le critère de protection pour les observations VLBI sera lui aussi respecté.

## 8.5 Techniques de réduction des brouillages

### 8.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour G/T, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal sur bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement, à un certain accroissement correspondant des niveaux de lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respecte le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 8.5.2 Service de radiodiffusion par satellite

Ce service suppose la transmission continue de signaux en permanence ou sur de longues périodes de temps, avec une puissance et un spectre constants. Les méthodes possibles de réduction des brouillages consistent à éviter d'émettre des rayonnements non désirés dans la direction des stations de radioastronomie qui utilisent cette bande, ou à utiliser des filtres afin de ramener les rayonnements non désirés à un niveau où les observations de radioastronomie dans la bande 1 400-1 427 MHz ne subissent pas de brouillage gênant.

### 8.5.3 Impact potentiel

#### 8.5.3.1 Service de radioastronomie

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant des stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes radioastronomiques au rayonnement du sol et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité de canal du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration total requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

#### 8.5.3.2 Service de radiodiffusion par satellite

Les filtres sont un moyen évident de supprimer les rayonnements non désirés, mais l'ajout de tels filtres peut avoir des conséquences importantes sur la conception des satellites. Si on utilise une antenne-réseau active à commande de phase, on aura peut-être besoin de filtres pour chaque élément d'antenne activé, ce qui va accroître le poids du satellite. Pour compenser l'affaiblissement de filtrage, il faudra des émetteurs plus puissants, ce qui nécessitera une puissance d'alimentation plus puissante et donc de plus grandes antennes-réseaux alimentées par énergie solaire. Cet accroissement de poids pourrait être suffisant pour exiger de plus gros lanceurs. L'incidence sur les coûts pourrait être considérable. Par conséquent, l'utilisation de filtres ne peut être prise en considération qu'au stade de la conception d'un système. Cependant, les progrès constants réalisés dans la conception des filtres et des antennes actives permettront peut-être demain de ramener le problème de la mise en œuvre de telles solutions à des proportions acceptables.

## 8.6 Résultats des études

### 8.6.1 Résumé

Les calculs présentés dans les paragraphes précédents concernent la compatibilité entre les systèmes OSG du SRS fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz. D'autres études seront nécessaires pour traiter le cas des systèmes non OSG.

Les calculs présentés dans les paragraphes précédents montrent que les systèmes SRS respecteront les critères de protection pour les observations VLBI et les observations du continuum, comme expliqué au § 8.1.3. Cependant, pour respecter les critères de protection applicables aux observations de raies spectrales, il faudra vraisemblablement mettre en œuvre des techniques de réduction des brouillages, comme le filtrage. Etant donné que la bande de garde prévue entre les bandes attribuées au service de radioastronomie et au SRS est importante par rapport à la largeur de bande nécessaire utilisée par les systèmes SRS, les critères de protection applicables au service de radioastronomie devraient techniquement pouvoir être respectés si l'on utilise des techniques de réduction des brouillages telles que le filtrage et l'isolement géographique. Il est à noter que la mise en œuvre de telles techniques a des conséquences économiques importantes.

### 8.6.2 Conclusions

Les critères de protection applicables aux observations de radioastronomie dans cette bande peuvent être respectés pour les observations du continuum et les observations VLBI et pour les observations de raies spectrales lorsque des techniques de réduction des brouillages appropriées sont utilisées.

## **9 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz**

### **9.1 Service de radioastronomie**

#### **9.1.1 Bande attribuée**

La bande 1 400-1 427 MHz est attribuée uniquement à des services passifs à titre primaire, à savoir le service de radioastronomie, le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et le service de recherche spatiale (passive). Le présent document ne traite que du cas de la radioastronomie.

Le numéro 5.340 du RR interdit toutes les émissions dans cette bande.

#### **9.1.2 Type d'observations**

La bande 1 400-1 427 MHz est utilisée plus intensément que toute autre dans toutes les Régions de l'UIT-R. La principale utilisation en radioastronomie de cette bande est de faire des observations de raies spectrales d'atomes d'hydrogène neutre dans le cosmos (désigné aussi par HI), qui a une fréquence de repos de 1 420,406 MHz. Cet élément est de loin le principal constituant de notre galaxie et d'autres galaxies, et il est présent dans d'énormes nuages de structure complexe. Cette raie est observée à la fois en émission et en absorption, et elle est élargie et décalée en fréquence par des effets Doppler dus à des mouvements isolés ou massifs des structures nuageuses. Par conséquent, les observations de HI peuvent être utilisées pour cartographier la distribution de la matière et de ses mouvements dans notre galaxie et dans d'autres galaxies. De cette façon, nous pouvons cartographier la structure de notre galaxie et les mouvements de la matière.

L'attribution de la bande 1 400-1 427 MHz est suffisamment large pour englober les émissions décalées par effets Doppler qui sont rayonnées par des nuages dans notre galaxie et dans des galaxies voisines. Les mesures de la polarisation de l'émission ou de l'absorption de HI donnent d'importantes informations sur les champs magnétiques galactiques et permettent donc d'améliorer notre compréhension de la structure des galaxies.

La bande 1 400-1 427 MHz est aussi utilisée pour les observations du continuum des émissions large bande produites par les plasmas chauds formés lorsque des étoiles chauffent des nuages environnants, et par l'interaction d'électrons à haute énergie dans le champ magnétique galactique (rayonnement synchrotron).

#### **9.1.3 Critères de protection requis**

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie sont indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.769, qui donne la liste des niveaux de rayonnements non désirés qui feront augmenter de 10% l'erreur de mesure. La bande est utilisée à la fois pour les observations de raies spectrales et pour celles du continuum. Dans la bande 1 400-1 427 MHz, pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectroscopie) de 20 kHz, le seuil de puissance surfacique est  $-196 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Pour faire des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, on utilise la totalité de la largeur de bande de 27 MHz, auquel cas le seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant est de  $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Les observations VLBI, pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrées et corrélées après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qu'atteste le seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz.

Les seuils des niveaux de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation, mais alors, la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra pas assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée ne peut être mise en œuvre.

#### **9.1.4 Caractéristiques de fonctionnement, type d'observations**

La bande 1 400-1 427 MHz est celle qui est la plus intensément utilisée de toutes les bandes de radioastronomie. Elle est utilisée dans le monde entier, dans toutes les Régions de l'UIT, et certains radiotélescopes, comme le Radiotélescope à synthèse d'ouverture de l'Observatoire de radioastrophysique du Dominion (DRAO) de Penticton (Canada), observent en permanence dans cette bande. Des radiotélescopes à une seule antenne sont utilisés pour mesurer la densité spectrale de puissance intégrée de sources de petit diamètre angulaire et pour cartographier les structures de grande taille angulaire qui ne peuvent être cartographiées avec des télescopes à synthèse d'ouverture.

La forte résolution angulaire offerte par les télescopes à synthèse d'ouverture permet de cartographier la structure très fine des nuages d'hydrogène et des sources d'émissions dans le continuum, comme les restes de supernova. Ces cartes sont alors combinées avec les cartes à plus faible résolution obtenues en utilisant des radiotélescopes à antenne unique pour faire des images en trois dimensions de haute qualité de notre galaxie ou d'autres galaxies. Les radiotélescopes à synthèse d'ouverture, qui utilisent plusieurs antennes-réseaux, auront peut-être besoin d'une à douze «expositions» de douze heures pour faire une cartographie complète d'une zone stellaire.

Pour faciliter la cartographie de structures de sources relativement grandes, certains radiotélescopes à synthèse d'ouverture, comme DRAO, utilisent des réseaux d'antennes relativement petites. Les instruments de cette sorte ne disposent pas de l'option de suppression des lobes latéraux optimum et sont donc plus vulnérables aux brouillages.

Les observations de raies spectrales sont faites en utilisant des spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement de 256 à 4 096) canaux de fréquences répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par un ou des nuages d'hydrogène dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle. Dans le cas d'observations du continuum, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs des positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, les rayonnements provenant de la source sont dissociés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences dans lesquelles se produisent les rayonnements de raies présentant un intérêt (spectres de raies) puis à une fréquence décalée par rapport à celle des émissions des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les

spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et les éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Etant donné que la galaxie est remplie de nuages d'hydrogène neutre, les radiotélescopes ne détectent pas que les rayonnements ou l'absorption par les nuages dans le faisceau principal de l'antenne, mais aussi des rayonnements très importants par les lobes latéraux de l'antenne. Ce «rayonnement parasite» induit une distorsion des spectres et réduit les détails de la carte. Pour supprimer cela des données il faut faire des mesures à grande échelle sur la totalité du faisceau de l'antenne (dans la mesure du possible) et évaluer la correction du rayonnement parasite. Les brouillages et les grandes zones «bloquées» du ciel vont donc affecter la capacité à cartographier de grands angles de parties du ciel à partir des sources de brouillage.

On peut cartographier des zones étendues de rayonnement radioélectrique en enregistrant ces émissions à partir d'une grille de points couvrant la région concernée. On peut faire aussi bien des observations du continuum que des observations de raies spectrales. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation en un point de grille donne une indication de la puissance totale (en cas d'observation du continuum) ou du spectre d'émission (en cas d'observation de raies spectrales) rayonné de cette position du ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à l'ouverture à mi-puissance du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être espacés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, on ramène la puissance des signaux à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur une bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## **9.2 Service mobile par satellite**

### **9.2.1 Bande d'émission attribuée**

La bande d'émission attribuée est 1 525-1 559 MHz (espace vers Terre).

### **9.2.2 Application**

Service mobile par satellite.

### **9.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

L'affaiblissement requis est de  $43 + 10 \log P$  ou 60 dBc, la valeur la moins stricte étant retenue, où  $P$  est la puissance de crête à l'entrée de l'antenne en watt dans une largeur de bande quelconque de 4 kHz.

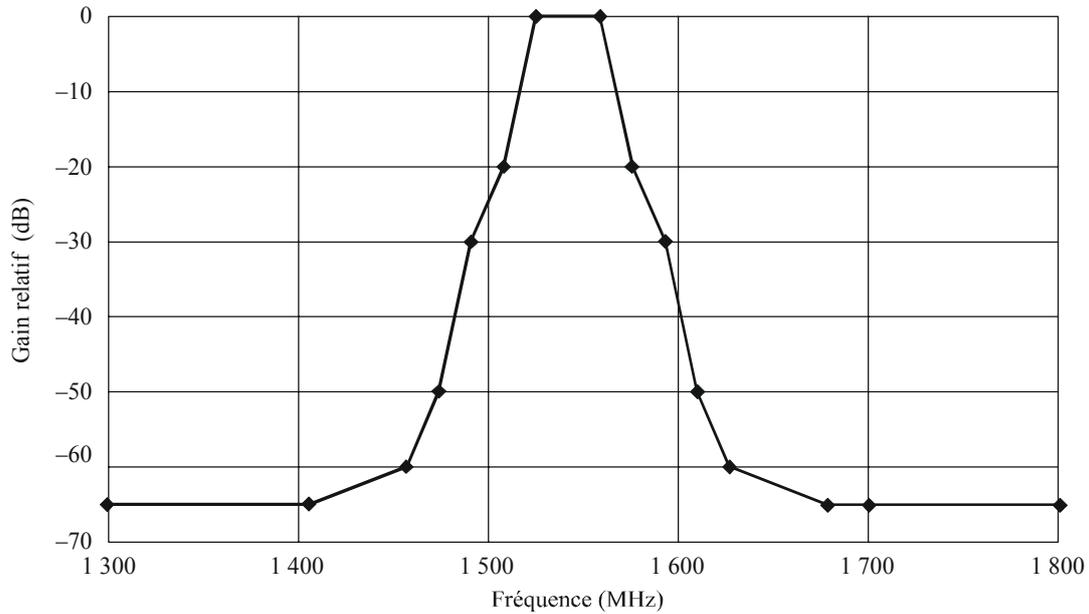
### **9.2.4 Caractéristiques de l'émetteur**

Le gain d'antenne est de 41 dBi.

Les caractéristiques du filtre de sortie de l'émetteur sont indiquées à la Fig. 37.

FIGURE 37

Caractéristiques du filtre de sortie de l'émetteur



Rap 2091-37

### 9.2.5 Caractéristiques de fonctionnement

La puissance de crête typique rayonnée dans le faisceau étroit d'un satellite OSG du SMS à l'entrée de l'antenne est de 16 dBW sur une largeur de bande de 5 MHz.

### 9.2.6 Niveau d'émission dans la bande

Le niveau d'émission dans la bande est de -15 dBW dans une largeur de bande de 4 kHz.

## 9.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 9.1.3.

## 9.4 Evaluation du brouillage

### 9.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Les paramètres densité spectrale de puissance de crête dans la bande, gain d'antenne de crête et affaiblissement mesuré du filtre de sortie de l'émetteur à différentes fréquences sont utilisés pour déterminer la puissance surfacique à la surface de la Terre.

### 9.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Sur la base des performances attendues du filtre de l'émetteur utilisé pour la bande 1 525-1 559 MHz, les niveaux de puissance typiques à la sortie de ce filtre, les niveaux de densité de p.i.r.e. à la sortie de l'antenne et la puissance surfacique produite à la surface de la Terre à différentes fréquences sont indiqués dans le Tableau 23.

TABLEAU 23

Valeurs attendues de la densité spectrale de puissance, de la densité de p.i.r.e. et de la puissance surfacique à la surface de la Terre du satellite Inmarsat-4

Fréquence (MHz)	Densité spectrale de puissance à la sortie du filtre (dB(W/4 kHz))	Densité de p.i.r.e. à la sortie d'antenne (dB(W/4 kHz))	Puissance surfacique à la surface de la Terre (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

### 9.4.3 Valeurs obtenues

La valeur est  $-202$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 4 kHz.

En traduisant ces valeurs pour les observations du continuum et les observations de raies spectrales, nous obtenons les valeurs suivantes:

- pour des observations du continuum avec une seule antenne parabolique:  $-163$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 27 MHz;
- pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique:  $-195$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 20 kHz.

Sur la base des paramètres ci-dessus, on déduit les marges/déficits suivants pour un système OSG du service mobile par satellite d'un opérateur:

- pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique, il manque 1 dB pour respecter le critère de protection donné dans la Recommandation UIT-R RA.769;
- pour des observations du continuum avec une seule antenne parabolique, il manque 17 dB pour respecter le critère de protection donné dans la Recommandation UIT-R RA.769.

## 9.5 Techniques de réduction des brouillages

### 9.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairage lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour G/T, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal sur bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Inévitablement, cela conduit à un certain accroissement correspondant dans les niveaux de lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respecte le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### **9.5.2 Service mobile par satellite**

Afin d'améliorer les niveaux donnés dans le Tableau 23, on devrait prendre en compte les techniques de réduction des brouillages suivantes dans la conception de nouvelles stations spatiales:

- la réponse en fréquence large bande de l'antenne;
- les caractéristiques d'affaiblissement des filtres intermédiaires;
- la réponse en fréquence du gain des amplificateurs de puissance à semi-conducteurs;
- les caractéristiques de modulation des différentes porteuses;
- l'affaiblissement des produits d'intermodulation par rapport à la puissance des porteuses.

### **9.5.3 Impact potentiel pour le service mobile par satellite**

Les techniques de réduction des brouillages indiquées au § 9.5.2 sont techniquement applicables aux systèmes OSG.

## **9.6 Résultats des études**

### **9.6.1 Résumé**

Sur la base des paramètres d'un système OSG du service mobile par satellite d'un opérateur et en tenant compte des facteurs de réduction des brouillages énumérés au § 9.5.2, les niveaux des rayonnements non désirés provenant de ce système à satellites devraient très vraisemblablement respecter les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie avec une seule antenne parabolique (voir le § 9.1.3).

### **9.6.2 Conclusions**

Les critères de protection seront vraisemblablement respectés pour les observations du continuum, les observations VLBI et les observations de raies spectrales, si l'on met en œuvre des mesures de réduction des brouillages appropriées.

## **10 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz**

### **10.1 Service de radioastronomie**

#### **10.1.1 Bande attribuée**

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire.

Au titre du numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie.

### 10.1.2 Type d'observations

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH (radical oxhydryle). La raie OH, qui a une fréquence de repos de 1 612 MHz, est une des plus importantes raies spectrales pour la radioastronomie, et figure comme telle dans la Recommandation UIT-R RA.314. Le radical OH a été le premier radical cosmique à être détecté à certaines fréquences radioélectriques (1963), et continue d'être un puissant outil de recherche. OH produit quatre raies spectrales, à proximité des fréquences 1 612, 1 665, 1 667 et 1 720 MHz, qui ont toutes été observées dans notre propre galaxie, aussi bien que dans d'autres galaxies externes. L'étude des raies OH fournit des informations sur une large gamme de phénomènes astronomiques, par exemple, sur la formation de protoétoiles et sur l'évolution des étoiles. Pour interpréter la plupart des observations faites sur les raies OH, il est nécessaire de mesurer l'intensité relative de plusieurs de ces raies. Si on ne peut plus observer l'une ou l'autre de ces raies, on ne pourra plus étudier certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «de façon cohérente», créant un rayonnement à bande étroite. Ces raies sont légèrement élargies à cause des conditions physiques de cette concentration. Le mouvement de ces concentrations par rapport à la Terre induit un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, donne naissance à un spectre plus complexe composé d'un certain nombre de profils de raies gaussiens superposés de différentes largeurs et amplitudes et de fréquences légèrement différentes (à cause de décalages Doppler différents). La largeur de bande attribuée est nécessaire pour tenir compte de l'étalement et du glissement du spectre par des mouvements différentiels et totaux de la source.

A certaines étapes de leur évolution, certaines classes d'étoiles ne rayonnent que sur la raie à 1 612 MHz. L'étude de cette raie permet aux astronomes d'évaluer des propriétés physiques de ces étoiles comme le taux d'émission de gaz par les étoiles et son recyclage dans le milieu interstellaire. Certaines propriétés de ces étoiles ne peuvent pas être déduites d'autres observations astronomiques. Des mesures des émissions OH par certaines étoiles ont aussi été utilisées pour évaluer la distance au centre de la galaxie, pour mesurer la masse du corps central de notre galaxie, et pour étudier la distribution spatiale des composants moléculaires dans notre galaxie et dans des galaxies externes. Enfin, des émissions maser extrêmement fortes ont été détectées près du noyau d'un certain nombre de galaxies externes. Cette émission mégamaser d'OH provenant de noyaux galactiques permet aux astronomes d'étudier la température et la densité du gaz moléculaire en leur centre.

La raie spectrale OH est aussi observée dans les comètes; il y a peu de souplesse dans la planification des observations de ces «cibles d'opportunité».

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans un grand nombre de canaux de fréquence (habituellement 256 à 4 096) répartis dans la bande de fréquences utilisée. La largeur et le nombre de canaux doivent être suffisamment grands pour reproduire de façon fidèle le spectre de l'émission reçue par le radiotélescope. On utilise normalement des largeurs de bande instantanées d'environ 0,2 à 20 kHz par canal de fréquence, selon le programme scientifique.

Les sources sont petites, et pour mesurer leur taille et leur structure il faut souvent faire des observations VLBI (interférométrie à très grande base).

### 10.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre

primaire à la radioastronomie. Dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique et une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, la valeur seuil de puissance surfacique est de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Cette bande n'est utilisée que pour les observations de raies radioélectriques et ne l'est pas pour les observations du continuum.

Dans le cas de brouillages gênants causés par des systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes du SMS et du SRNS.

Les seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finalement être détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation, mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

#### 10.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites de radioastronomie dans de nombreux pays, à l'échelle mondiale. Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont parfois effectuées sur des cibles d'opportunité, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements transitoires dans cette raie. Des observations VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande, parfois entre les réseaux VLBI nord-américain et européen.

Les observations VLBI, dans lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages, ce qu'atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz, qui a été prévu pour les observations VLBI, mais n'est pas inclus dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement 256 à 4 096) canaux de fréquences répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par la ou les sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les émissions des raies intéressantes (spectres de raies), et ensuite à une fréquence décalée par rapport à celle des émissions de la raie, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et d'autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement puis enregistrés sur bande magnétique ou sur d'autres

supports, avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## 10.2 Service de radionavigation par satellite

### 10.2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 559-1 610 MHz est attribuée au service de radionavigation par satellite (SRNS) pour les émissions espace vers Terre.

### 10.2.2 Application

Les systèmes de radionavigation par satellite, qui sont des systèmes à faible puissance par rapport à la plupart des systèmes à satellites, sont utilisés pour l'estimation et la synchronisation des positions par les utilisateurs, y compris les radioastronomes et les systèmes spatiaux passifs. Et donc les deux services sont imbriqués. Il y a deux types principaux de systèmes du SRNS: non OSG et OSG. Les systèmes OSG sont essentiellement utilisés pour la navigation aérienne. Les systèmes non OSG sont utilisés partout dans le monde et par de multiples administrations pour la navigation, l'estimation de position, des calculs horaires précis ainsi que pour les opérations de recherche et de sauvetage.

### 10.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Aucune limite stricte ou valeur seuil indiquée dans le Règlement des radiocommunications ne s'applique au SRNS dans la bande 1 559-1 610 MHz.

### 10.2.4 Caractéristiques de fonctionnement

#### 10.2.4.1 GALILEO

##### 10.2.4.1.1 Caractéristiques orbitales

Les caractéristiques orbitales de GALILEO utilisées pour la simulation sont données dans le Tableau 24 ci-après.

TABLEAU 24

#### Paramètres de la constellation GALILEO

Paramètre	Valeur
Nombre de satellites	27
Nombre de plans	3
Inclinaison	56
Altitude (km)	23 616

Les paramètres orbitaux de chaque satellite de la constellation sont donnés dans le Tableau 25 ci-après.

TABLEAU 25  
Paramètres de la constellation GALILEO

Numéro du satellite	Ascension droite du nœud ascendant	Anomalie vraie
1	0	0
2	0	40
3	0	80
4	0	120
5	0	160
6	0	200
7	0	240
8	0	280
9	0	320
10	120	13,33
11	120	53,33
12	120	93,33
13	120	133,33
14	120	173,33
15	120	213,33
16	120	253,33
17	120	293,33
18	120	333,33
19	240	26,66
20	240	66,66
21	240	106,66
22	240	146,66
23	240	186,66
24	240	226,66
25	240	266,66
26	240	306,66
27	240	346,66

#### 10.2.4.1.2 Rayonnements non désirés des satellites GALILEO

Le Tableau 26 donne le niveau des rayonnements non désirés produits par les satellites GALILEO dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz attribuée à la radioastronomie.

TABLEAU 26

**Rayonnements non désirés produits par les satellites GALILEO**

Paramètre	Valeur
Densité spectrale de p.i.r.e. (dB(W/kHz))	-68,5
Altitude (km)	23,616
Densité spectrale de puissance (dB(W/(m <sup>2</sup> · kHz)))	-227
Puissance surfacique (dBW/(m <sup>2</sup> · 20 kHz))	-214

La Fig. 38 donne les résultats des mesures des émissions hors bande des satellites GALILEO dans la bande attribuée à la radioastronomie, mesures réalisées par la station terrienne de contrôle des émissions de Leeheim. Les mesures actuelles ne permettent pas d'indiquer le niveau des émissions hors bande en raison de la sensibilité limitée de la station de mesure. La ligne rouge indique une sensibilité du système d'environ  $-191$  dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 20 kHz.

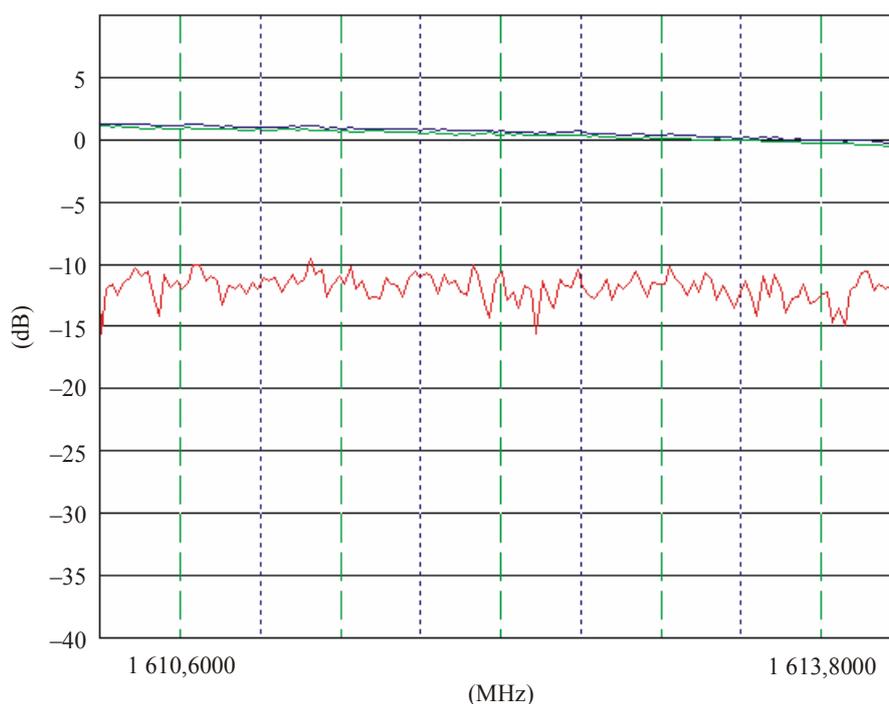
FIGURE 38

**Niveaux mesurés des émissions hors bande d'un satellite GALILEO expérimental sur la gamme de fréquences comprise entre 1 610,6 et 1 613,8 MHz**

Station terrienne de contrôle des émissions de Leeheim (Allemagne)

Tâche: Galileo 1,6 GHz-Detail 2

Date: 2006-07-05 03:27 UTC



Rap 2091-38

Dans la Fig. 38, la courbe bleue (courbe du haut) correspond au niveau mesuré des émissions du satellite Galileo expérimental + le bruit par ciel clair, la courbe verte (courbe du milieu) correspond au niveau du bruit par ciel clair et la courbe rouge (courbe du bas) indique la différence entre la courbe bleue et la courbe verte.

### 10.2.4.2 GPS

#### 10.2.4.2.1 Caractéristiques orbitales

Les caractéristiques orbitales du système GPS utilisées pour la simulation sont données dans le Tableau 27 ci-après:

TABLEAU 27  
Constellation GPS

Paramètre	Valeur
Nombre de satellites	24
Nombre de plans	6
Inclinaison	55
Altitude (km)	20 200

Les paramètres orbitaux de chaque satellite de la constellation sont donnés dans le Tableau 28.

TABLEAU 28  
Paramètres de la constellation GPS

Satellite	Ascension droite du nœud ascendant	Anomalie vraie
1	272,847	11,676
2	272,847	41,806
3	272,847	161,786
4	272,847	268,126
5	332,847	80,956
6	332,847	173,336
7	332,847	204,376
8	332,847	309,976
9	32,847	11,876
10	32,847	241,556
11	32,847	339,666
12	32,847	11,796
13	92,847	135,226
14	92,847	167,356
15	92,847	265,446
16	92,847	35,156
17	92,847	197,046
18	152,847	302,596
19	152,847	333,686
20	152,847	66,066

TABLEAU 28 (*fin*)

Satellite	Ascension droite du nœud ascendant	Anomalie vraie
21	212,847	238,886
22	212,847	345,226
23	212,847	105,206
24	212,847	135,346

#### 10.2.4.2.2 Rayonnements non désirés des satellites GPS

Dès le début de 1989, les premiers satellites GPS opérationnels en vraie grandeur ont été conçus avec des techniques de synthèse de fréquences améliorées, qui permettaient un filtrage supplémentaire grâce à l'utilisation d'un triplexeur en bande L optimisé. Cette fonction de filtrage optimisée a été ajoutée à tous les satellites Block II/IIA et aux satellites ultérieurs, c'est-à-dire les satellites M Block IIR et IIR afin de réduire au minimum les rayonnements non désirés. Le triplexeur actuellement utilisé est un filtre Chebychev à six pôles contigus qui est appliqué aux émissions aux fréquences L1 et L2. La série Block IIF des satellites GPS modernisés utilisera un quadruplexeur pour pouvoir intégrer le nouveau signal L5 de l'aviation civile et offrira des prestations analogues.

Les rayonnements non désirés des satellites GPS ont une puissance surfacique en sortie qui est inférieure à  $-258 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz. Cette valeur est indiquée dans le bilan de liaison présenté ci-après dans le Tableau 29.

TABLEAU 29

#### Caractéristiques des rayonnements non désirés des satellites GPS

	Paramètres	Valeur
1	Spécification du niveau maximal des émissions hors bande (dB(W/Hz))	-110
2	Niveau des émissions hors bande pour le cas le plus défavorable (donné par le fabricant) (dB(W/Hz))	-113
3	$\lambda \Lambda(c/1\ 612 \text{ MHz})$ (m)	0,19
4	Ouverture équivalente de l'antenne de réception ( $\lambda^2/4\pi$ ) (dBm <sup>2</sup> )	-25,4
5	$D$ = distance du satellite par rapport à l'antenne Rz (m)	2,02E+7
6	Affaiblissement sur le trajet ( $\lambda^2/((d*4\pi)^2)$ ) (dB)	-182,7
7	Gain de l'antenne de l'émetteur (dB)	12
8	Puissance surfacique reçue (rangée 2 – rangée 4 + rangée 6 + rangée 7) (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))	-258,3
9	Puissance surfacique reçue (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))	-215,3

### 10.2.4.3 Système à satellites quasi zénithal (QZSS)

#### 10.2.4.3.1 Caractéristiques orbitales

Les caractéristiques orbitales du système QZSS utilisées pour la simulation sont données dans le Tableau 30 ci-après:

TABLEAU 30

#### Paramètres de la constellation QZSS

Paramètre	Valeur
Nombre de satellites	3
Nombre de plans	3
Inclinaison (degrés)	45
Altitude de l'apogée (km)	39 970
Altitude du périégée (km)	31 602
Argument du périégée (degrés)	270

Les paramètres orbitaux de chaque satellite de la constellation sont donnés dans le Tableau 31.

TABLEAU 31

#### Paramètres de la constellation QZSS (1er janvier 2000: 0:00)

Numéro du satellite	Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	Anomalie vraie (degrés)
1	205	129,21
2	325	0
3	85	230,49

#### 10.2.4.3.2 Rayonnements non désirés des satellites QZSS

Le Tableau 32 donne le niveau des rayonnements non désirés produits par les satellites QZSS dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz attribuée à la radioastronomie.

TABLEAU 32

#### Rayonnements non désirés des satellites QZSS

Paramètre	Valeur
Densité spectrale de p.i.r.e. (dB(W/Hz))	-86,9
Distance minimum entre le satellite et la surface de la Terre (km)	31 602
Densité spectrale de puissance (dB(W/(m <sup>2</sup> · kHz)))	-218
Puissance surfacique (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))	-205

#### 10.2.4.4 GLONASS

##### 10.2.4.4.1 Caractéristiques orbitales

Les caractéristiques orbitales de la constellation GLONASS utilisées pour les simulations sont données dans le Tableau 33.

TABLEAU 33

#### Paramètres de la constellation GLONASS

Paramètre	Valeur
Nombre de satellites	24
Nombre de plans	3
Inclinaison (degrés)	64,8
Altitude (km)	19 100

Les paramètres orbitaux de chaque satellite de la constellation sont donnés dans le Tableau 34.

TABLEAU 34

#### Paramètres orbitaux de la constellation GLONASS

Satellite	Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	Anomalie vraie (degrés)
1	0	0
2	0	45
3	0	90
4	0	135
5	0	180
6	0	225
7	0	270
8	0	315
9	120	0
10	120	45
11	120	90
12	120	135
13	120	180
14	120	225
15	120	270
16	120	315
17	240	0
18	240	45
19	240	90

TABLEAU 34 (*fin*)

Satellite	Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	Anomalie vraie (degrés)
20	240	135
21	240	180
22	240	225
23	240	270
24	240	315

#### 10.2.4.4.2 Rayonnements non désirés des satellites GLONASS

Le niveau des rayonnements non désirés du système GLONASS dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz attribué à la radioastronomie a été réduit au fil des années (voir le § 10.5.2). Les mesures qui ont été prises pour réduire le niveau des rayonnements non désirés sont les suivantes:

- a) Modification de la bande de fréquences du système GLONASS:
- De 1998 à 2005: les satellites GLONASS en service utilisaient les numéros de fréquence  $k = 0 \dots 12$  (voir le Tableau 35) sans aucune limitation. Le numéro de fréquence  $k = 13$  était utilisé pour les essais.
  - Après 2005: tous les satellites GLONASS en service utilisent les numéros de fréquence  $k = (-7, \dots, +6)$  (voir le Tableau 35).

Ainsi, le plan de fréquences du système a été modifié, ce qui s'est traduit par le transfert des émissions fondamentales du système GLONASS dans la bande de fréquences au-dessous de la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

TABLEAU 35

#### Répartition des fréquences porteuses du système GLONASS pour la gamme de fréquences 1,6 GHz

N° de la fréquence $k$	Fréquences porteuses dans la sous-bande L1 (MHz)	N° de la fréquence $k$	Fréquences porteuses nominales dans la sous-bande L1 (MHz)
13	1 609,3125	02	1 603,125
12	1 608,75	01	1 602,5625
11	1 608,1875	00	1 602,0
10	1 607,625	-01	1 601,4375
09	1 607,0625	-02	1 600,8750
08	1 606,5	-03	1 600,3125
07	1 605,9375	-04	1 599,7500
06	1 605,375	-05	1 599,1875
05	1 604,8125	-06	1 598,6250
04	1 604,25	-07	1 598,0625
03	1 603,6875		

- b) Filtrage: tous les satellites GLONASS mis en service après la fin de 2005 sont équipés de filtres qui suppriment une partie importante des émissions hors bande du satellite dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et qui, dans la bande 1 660,0-1 670,0 MHz, permettent de ramener les émissions hors bande au niveau indiqué dans la Recommandation UIT-R RA.769 (valeur par satellite).

La suppression relative calculée des rayonnements non désirés du système GLONASS due à ces filtres est indiquée dans le Tableau 36.

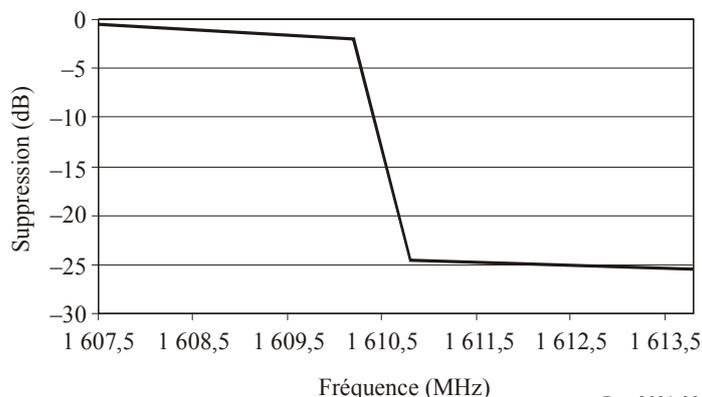
TABLEAU 36

**Suppression calculée des rayonnements des satellites GLONASS due aux filtres**

Fréquence (MHz)	Suppression (dB)
1 607,5	-0,5
1 610,2	-2
1 610,8	-24,5
1 613,8	-25,5

FIGURE 39

**Caractéristiques de la suppression calculée des émissions des satellites GLONASS due aux filtres dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz**



Rap 2091-39

Il s'agit des caractéristiques nominales de la nouvelle génération de satellites GLONASS ainsi que d'un filtre qui a été mis en place sur un des satellites lancés fin 2003. Les observations font apparaître que l'on a pu obtenir jusqu'à 19 dB d'affaiblissement. Cet affaiblissement n'est pas suffisant pour atteindre le niveau seuil de brouillage gênant spécifié dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

Une simulation des signaux émis par chaque satellite GLONASS dans la gamme 1,6 GHz sur les fréquences nominales comprises entre  $k = -5$  et  $k = 6$  ainsi qu'une simulation des caractéristiques du filtre conformément à la méthode décrite ci-après ont été réalisées.

$$PFD(\beta_i) = L_F(f_c) + P_{si} + G_t(\theta_i) - L(\beta_i)$$

où:

$PFD(\beta_i)$ : puissance surfacique par le  $i$ ème satellite GLONASS en fonction de l'angle d'élévation  $\beta$ , dB(W/m<sup>2</sup>) dans une bande de fréquences de référence  $\Delta f$

- $L_F(f_c)$ : affaiblissement d'un filtre placé sur une station spatiale GLONASS (voir la Fig. 39) (dB)
- $P_{si}$ : puissance totale rayonnée par le signal de navigation émis par le  $i$ ème satellite GLONASS, dBW dans une bande de fréquences de référence  $\Delta f$  (dBW)
- $G_i(\theta_i)$ : gain d'antenne de la station spatiale d'émission GLONASS en fonction de l'angle  $\theta$  (dBi)
- $\theta_i$ : angle formé par l'axe principal de l'antenne d'émission de la station GLONASS et la direction du point de réception à la surface de la Terre (degrés)
- $L(\beta_i)$ : affaiblissement d'étalement en fonction de l'angle d'élévation  $\beta$  (dB/m<sup>2</sup>)
- $\beta_i$ : angle d'élévation de la station spatiale GLONASS au point de réception à la surface de la Terre (degrés)
- $N$ : nombre de satellites GLONASS dans une constellation
- $i$ : indice du satellite GLONASS considéré (1, 2 ...  $N$ )
- $\Delta f$ : bande de fréquences de référence de mesure (Hz)
- $f_c$ : fréquence centrale d'une bande de fréquences de référence de mesure  $\Delta f$  (Hz).

La puissance totale  $P_{si}$  rayonnée par un signal de navigation émis par le  $i$ ème satellite GLONASS, dBW, dans une bande de fréquences de référence  $\Delta f$  est déterminée à partir de l'équation suivante:

$$P_{si} = 10 \log 10 \left( PD \cdot \int_{-\frac{\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} S_i(f) df \right)$$

$$S_i(f) = \frac{\sin \left[ |f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}{\left[ |f - (fx_i - fc)| \pi \cdot \frac{1}{fe} \right]^2}$$

où:

- $P_{si}$ : puissance totale rayonnée par le signal de navigation émis par le  $i$ ème satellite GLONASS dans une bande de fréquences de référence  $\Delta f$  (dBW)
- $PD$ : densité spectrale de puissance maximale du signal de navigation (W/Hz)
- $S_i(f)$ : caractéristique spectrale du signal de navigation émis par la  $i$ ème station d'émission
- $f$ : fréquence considérée (Hz)
- $fx_i$ : fréquence porteuse du  $i$ ème satellite GLONASS (Hz)
- $fc$ : fréquence centrale d'une bande de fréquences de référence de mesure  $\Delta f$  (Hz)
- $fe$ : largeur de bande à  $-3$  dB du signal de navigation (Hz)
- $\Delta f$ : bande de fréquences de référence de mesure (Hz).

A son tour, l'affaiblissement d'étalement  $L(\beta_i)$  est déterminé à l'aide de l'équation suivante:

$$L(\beta_i) = 10 \log 10 \left[ 4\pi (d(\beta_i))^2 \right]$$

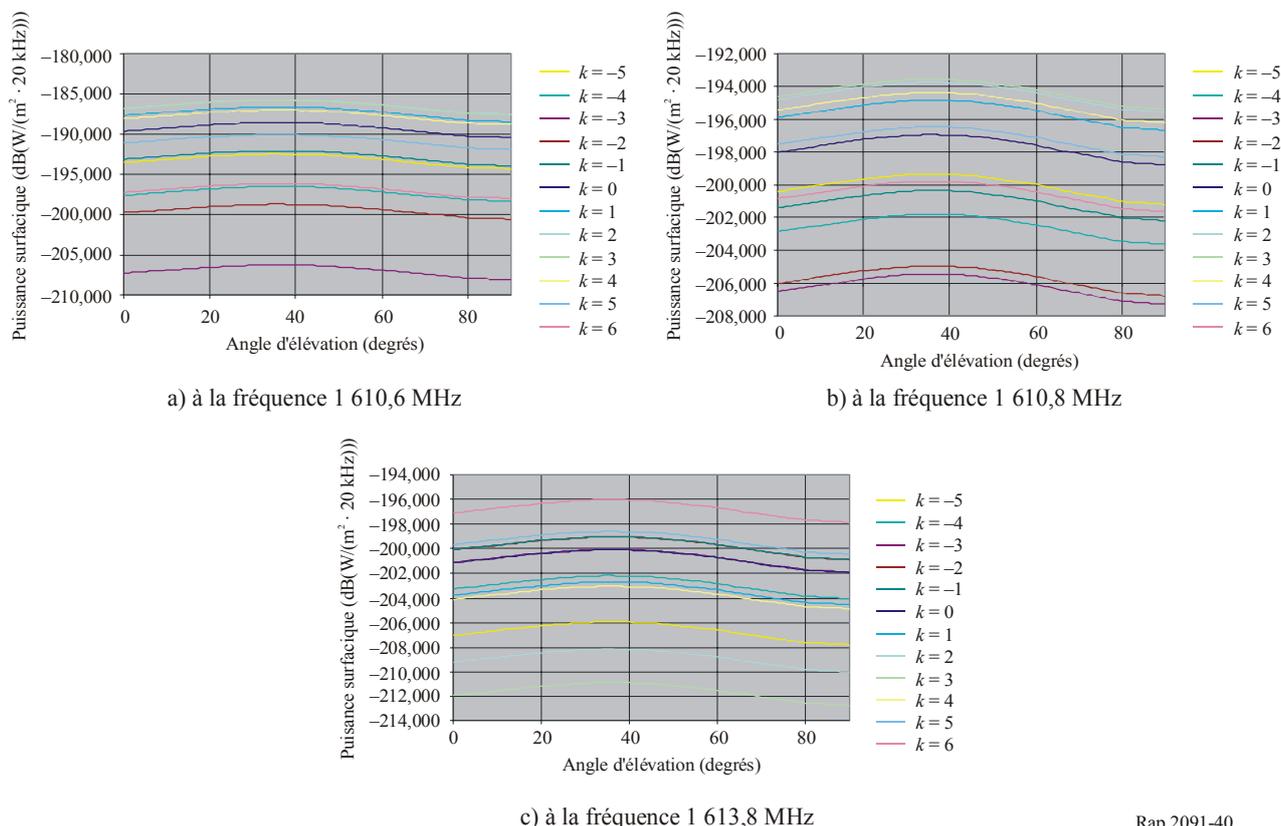
$$d(\beta_i) = \sqrt{(H + R)^2 - \left( R \cos \left( \beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right)^2} - R \sin \left( \beta_i \cdot \frac{\pi}{180} \right)$$

où:

- $L(\beta_i)$ : affaiblissement d'étalement en fonction de l'angle d'élévation  $\beta$  (dBm<sup>2</sup>)
- $\beta_i$ : angle d'élévation de la station spatiale GLONASS au point de réception à la surface de la Terre (degrés)
- $d(\beta_i)$ : distance entre la station spatiale d'émission et le point de réception à la surface de la Terre en fonction de l'angle d'élévation  $\beta$  (m)
- $H$ : altitude de l'orbite de la station spatiale GLONASS au-dessus de la surface de la Terre (m)
- $R$ : rayon de la Terre (m).

Les niveaux de puissance surfacique imputables à chaque satellite GLONASS (chaque fréquence porteuse) équipé du filtre susmentionné ont été déterminés pour tous les angles d'arrivée du signal, pour les trois fréquences considérées, à savoir 1 610,6, 1 610,8 et 1 613,8 MHz (Fig. 40).

FIGURE 40  
Niveaux de puissance surfacique pour chaque satellite GLONASS  
(chaque fréquence porteuse)



Rap 2091-40

Pour la simulation de la puissance efd, les niveaux de puissance surfacique donnés dans le Tableau 37 ont été examinés pour chaque satellite de la constellation, pour la fréquence la plus défavorable, c'est-à-dire 1 610,6 MHz. C'est là un exemple de plan de fréquences qui ne reflète pas nécessairement le plan de fréquences réel susceptible d'être utilisé pour le futur système GLONASS. A des fins de simplification et puisque les variations de l'angle d'élévation sont faibles, une moyenne des valeurs a été établie pour tous les angles d'élévation.

Les caractéristiques des émissions hors bande d'un satellite GLONASS de nouvelle génération doté d'un filtre ont été récemment mesurées à la station terrienne de contrôle des émissions de Leeheim.

La Fig. 41 ci-dessus donne les résultats de ces mesures. La courbe bleue (courbe du haut) correspond aux émissions mesurées du satellite GLONASS + le bruit par ciel clair, la courbe verte (courbe du milieu) correspond au niveau de bruit par ciel clair et la courbe rouge (courbe du bas) est la différence entre la courbe bleue et la courbe verte.

Les mesures font apparaître que la modulation s'est améliorée entre l'ancien et le nouveau satellite GLONASS et qu'un filtre a été mis en place pour réduire de 19 dB le niveau des rayonnements non désirés dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz attribuée au service de radioastronomie. La fréquence du filtre mis en place semble être décalée par rapport au centre de la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

L'amélioration de la modulation résout le problème que posent les pics des zéros dans la bande 1 660-1 670 MHz attribuée au service de radioastronomie. La fréquence centrale du signal GLONASS mesurée est 1 604,25 MHz, ce qui correspond au numéro  $k=4$  dans le Tableau 35. Cette fréquence porteuse est le canal opérationnel le plus proche de la bande attribuée au service de radioastronomie. Le niveau de puissance surfacique mesuré à la fréquence 1 610,6 MHz est voisin de  $-173,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ .

Les mesures actuelles ne permettent pas d'indiquer le niveau réel des émissions hors bande car la sensibilité de la station de contrôle des émissions n'est pas connue et on ne sait pas si la valeur de puissance surfacique la plus faible mesurée à 1 613,8 MHz ( $-189 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ ) correspond à l'émission du satellite GLONASS ou au bruit de la station de contrôle des émissions.

TABLEAU 37

**Niveaux de puissance surfacique de la constellation GLONASS, par satellite**

Satellite	Porteuse $k$	Puissance surfacique (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))		
		1 610,6 MHz	1 610,8 MHz	1 613,8 MHz
1	-5	-193	-200	-207
2	-4	-197	-203	-203
3	-3	-206	-206	-201
4	-2	-198	-206	-201
5	-1	-192	-201	-200
6	0	-188	-198	-201
7	1	-187	-197	-203
8	2	-186	-194	-209
9	3	-186	-194	-212
10	4	-187	-195	-204
11	5	-190	-197	-199
12	6	-197	-201	-197
13	-5	-193	-200	-207
14	-4	-197	-203	-203
15	-3	-206	-206	-201
16	-2	-198	-206	-201
17	-1	-192	-201	-200
18	0	-188	-198	-201
19	1	-187	-197	-203

TABLEAU 37 (*fin*)

Satellite	Porteuse $k$	Puissance surfacique (dB(W/(m <sup>2</sup> · 20 kHz)))		
		1 610,6 MHz	1 610,8 MHz	1 613,8 MHz
20	2	-186	-194	-209
21	3	-186	-194	-212
22	4	-187	-195	-204
23	5	-190	-197	-199
24	6	-197	-201	-197

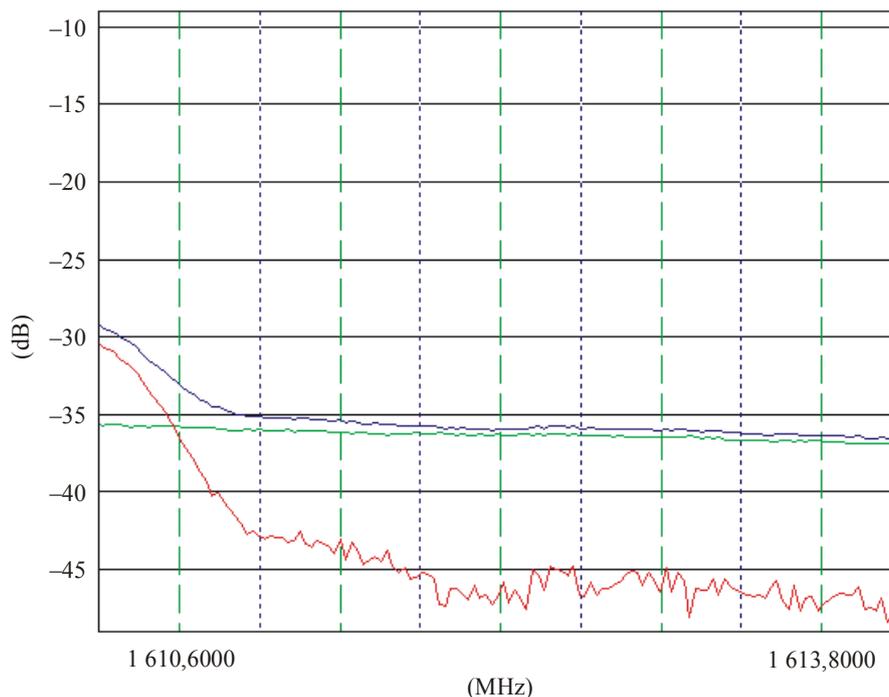
FIGURE 41

**Niveaux mesurés des émissions hors bande d'un satellite GLONASS de nouvelle génération dans la gamme de fréquences 1610,6-1613,8 MHz**

Station terrestre de contrôle des émissions de Leeheim (Allemagne)

Tâche: COSMOS 2 411 (Glonass 712) RA Band

Date: 2006-02-03 12:58 UTC Az. 177,5°/El. 58,3°



Rap 2091-41

### 10.3 Seuil de compatibilité

Dans le cas de constellations non OSG, un niveau seuil de puissance e<sub>pf</sub>d de -258 dB(W/m<sup>2</sup>) peut être calculé pour la bande 1 610,6-1 613,8 MHz à partir du niveau seuil de puissance surfacique correspondant à un brouillage gênant pour les observations de radioastronomie, donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 et du gain d'antenne de radioastronomie maximum donné dans la Recommandation UIT-R RA.1631, lequel est de 64 dBi pour la bande de fréquences considérée.

## 10.4 Evaluation du brouillage

### 10.4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

La Recommandation UIT-R M.1583 donne une méthode pour évaluer les niveaux des rayonnements non désirés produits par un système à satellites non géostationnaires sur les sites de radioastronomie. Cette méthode est basée sur une division du ciel en cellules, d'angles solides pratiquement égaux et sur une analyse statistique dans laquelle la direction de pointage de l'antenne de radioastronomie et le début de l'activité de la constellation de satellite sont les variables aléatoires. Pour chaque essai, une moyenne du niveau des rayonnements non désirés (exprimée sous forme de puissance  $epfd$ ) est établie sur une période de 2 000 s.

S'agissant de la simulation pour les satellites GPS, GLONASS et GALILEO, les caractéristiques retenues correspondent à celles du radiotélescope d'Effelsberg qui peut effectuer des observations dans la largeur de bande considérée avec une antenne de 100 m de diamètre ayant un gain maximal d'environ 64 dBi. Le diagramme de rayonnement de l'antenne et le gain maximal sont ceux indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.1631.

Les coordonnées géographiques sont les suivantes:

Latitude: 50,7° N    Longitude 7,0° E

S'agissant de la simulation pour les systèmes QZSS, les caractéristiques retenues correspondent à celles des radiotélescopes de Kashima et d'Usada au Japon. Le diagramme de rayonnement de l'antenne et le gain maximal de 64 dBi sont ceux indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.1631.

Les coordonnées géographiques du radiotélescope de Kashima sont les suivantes:

Latitude: 35,95° N    Longitude: 140,67° E

Les coordonnées géographiques du radiotélescope d'Usada sont les suivantes:

Latitude: 36,12° N    Longitude: 138,35° E

Des simulations ont été réalisées avec un angle d'élévation minimal de 0° pour le télescope afin d'obtenir des résultats complètement généraux.

Dans le cas du système GLONASS, la puissance surfacique rayonnée dans la bande de radioastronomie peut varier d'un satellite à un autre, étant donné que chaque satellite peut utiliser une porteuse différente.

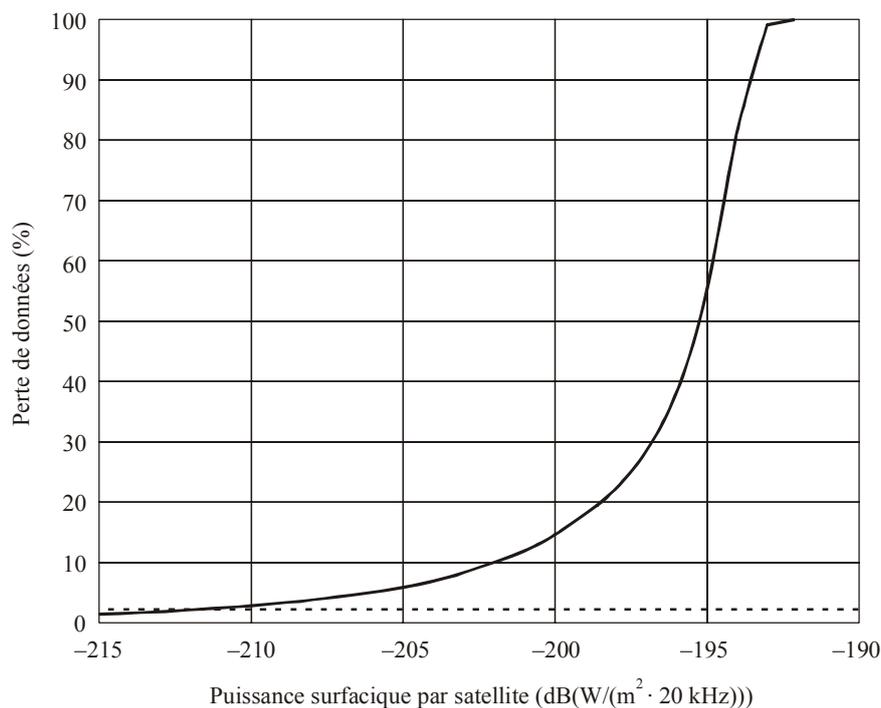
### 10.4.2 Calcul du niveau de brouillage

#### 10.4.2.1 GALILEO

La Fig. 42 donne le pourcentage de temps pendant lequel la puissance  $epfd$  seuil est dépassée sur le site de radioastronomie pour une valeur de puissance surfacique rayonnée par satellite GALILEO donnée (comme on l'explique dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

FIGURE 42

**Pourcentage de données perdues en fonction de la puissance surfacique par satellite (GALILEO)**



Rap 2091-42

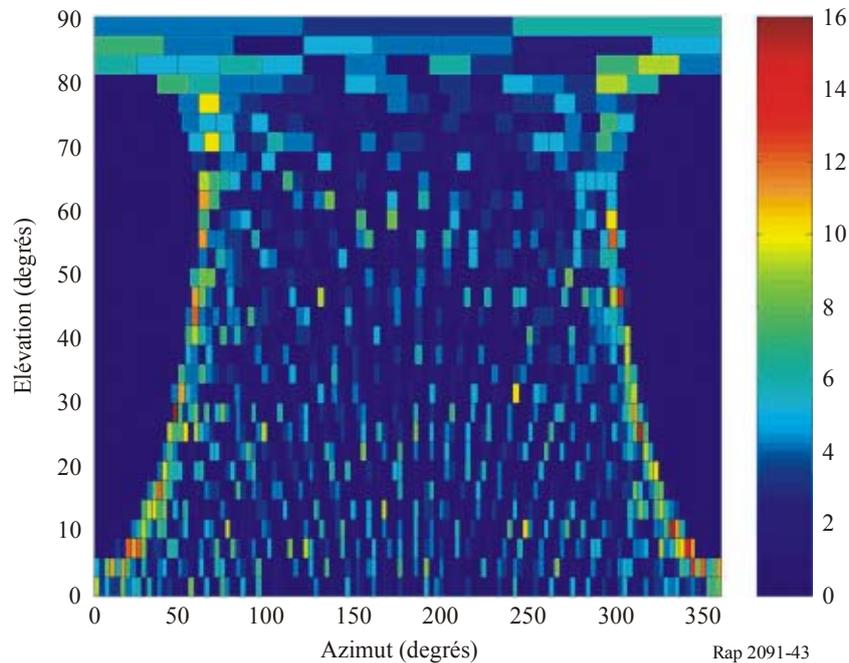
Pour que le niveau seuil de puissance epfd soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite GALILEO devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  dans la bande de radioastronomie.

La Fig. 43 donne pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique par satellite de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé. On voit que ce pourcentage ne dépasse jamais 14% par cellule et que, par conséquence, aucune partie du ciel n'est occultée.

Dans les Fig. 43, 45, 47, 49 et 50, l'azimut  $0^\circ$  est vers le nord et l'azimut augmente d'ouest en est.

FIGURE 43

Pourcentage de pertes de données, sur l'ensemble du ciel, pour une puissance surfacique de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  (GALILEO)



#### 10.4.2.2 GPS

La Fig. 44 donne le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance  $epfd$  est dépassé sur le site de radioastronomie pour une valeur de puissance surfacique rayonnée par satellite GPS donnée.

Pour que le niveau seuil de puissance  $epfd$  soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite GPS devrait rayonner une puissance surfacique de moins de  $-211 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  dans la bande de radioastronomie. Cette valeur est identique à celle trouvée pour le satellite GALILEO.

La Fig. 45 donne pour chaque cellule du ciel et pour une puissance surfacique (par satellite) de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ , le pourcentage d'observations pour lesquelles le niveau seuil de puissance  $epfd$  est dépassé. On voit que ce pourcentage ne dépasse jamais 18% par cellule et que, par conséquent, aucune partie du ciel n'est occultée.

#### 10.4.2.3 QZSS

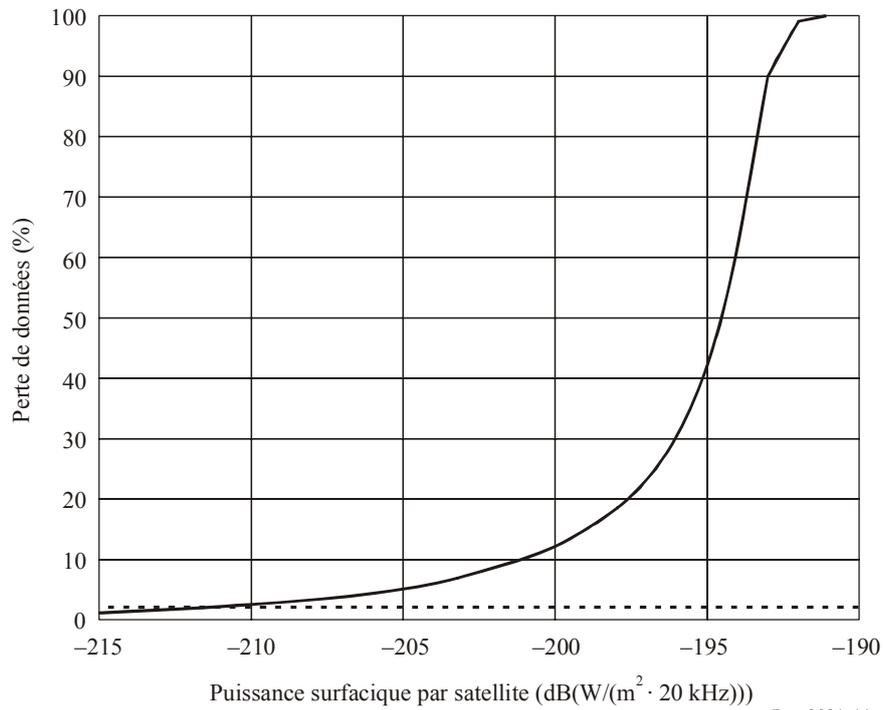
Etant donné que la simulation pour le radiotélescope de Kashima aboutit aux niveaux de puissance  $epfd$  les plus défavorables, les résultats de ces calculs sont donnés ici.

La Fig. 46 donne le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance  $epfd$  est dépassé sur le site de radioastronomie pour une valeur de puissance surfacique rayonnée par satellite QZSS donnée (comme indiqué dans la Recommandation UIT-R RA.1513, tout dépassement de ce seuil équivaut à une perte de données).

Pour que le niveau seuil de puissance  $epfd$  soit respecté pendant plus de 98% du temps en moyenne sur l'ensemble du ciel, chaque satellite QZSS ne devrait pas rayonner une puissance surfacique de plus de  $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  dans la bande de radioastronomie. A titre de référence, dans le cas du radiotélescope d'Usada, cette puissance surfacique était de  $-202,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ .

FIGURE 44

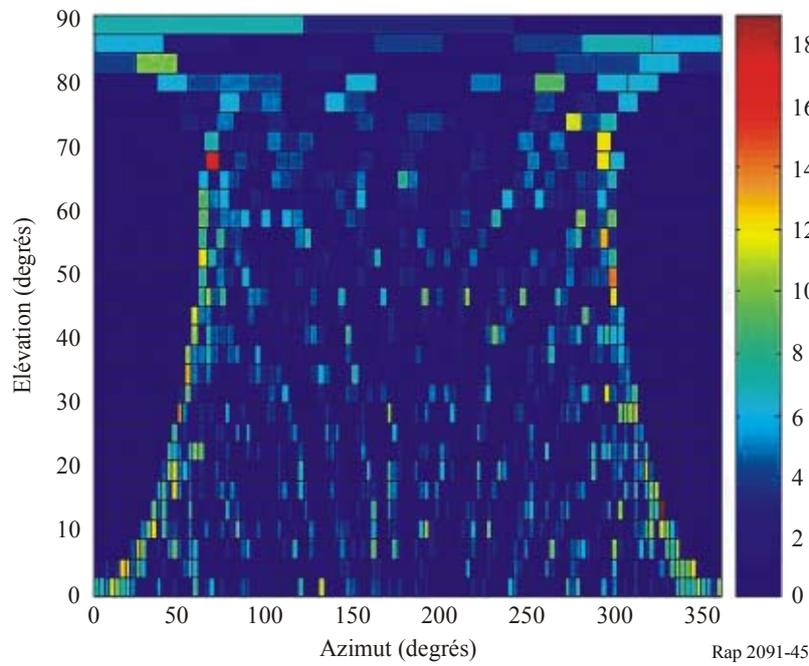
Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite (GPS)



Rap 2091-44

FIGURE 45

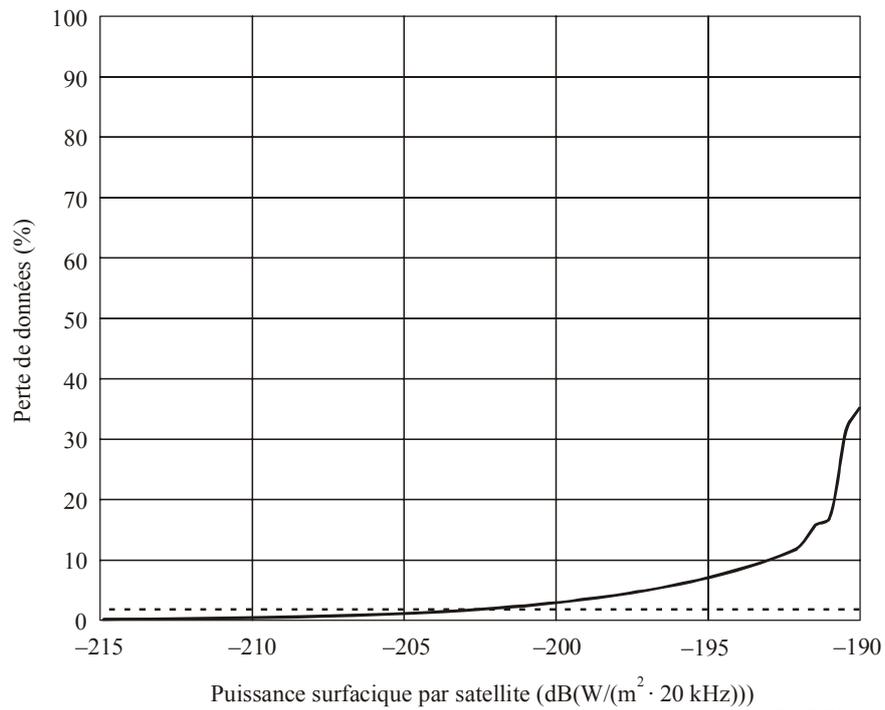
Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une puissance surfacique de  $-212 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  (GPS)



Rap 2091-45

FIGURE 46

Pourcentage de perte de données en fonction de la puissance surfacique par satellite  
(rayonnée par le satellite QZSS vers le radiotélescope de Kashima)



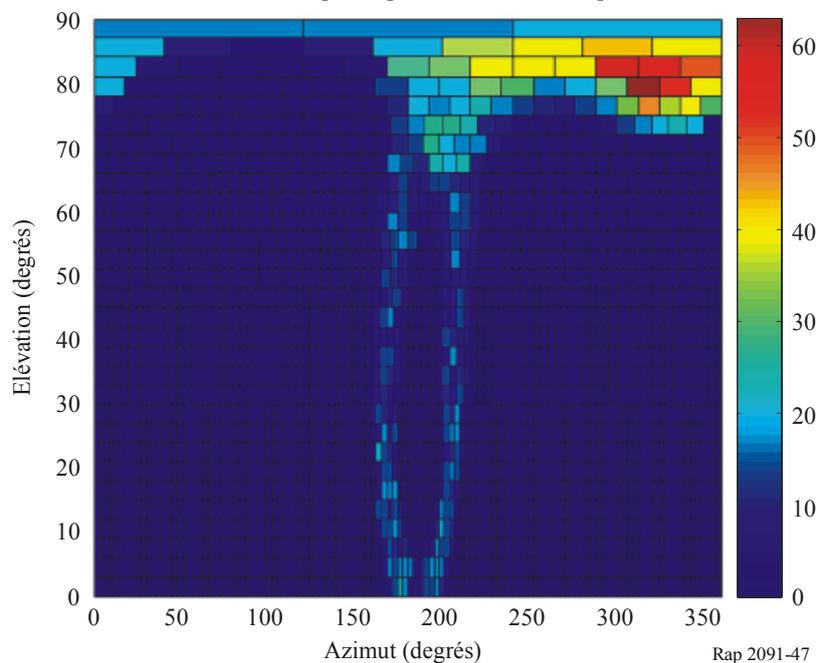
Rap 2091-46

La Fig. 47 indique pour chaque cellule du ciel et pour la valeur susmentionnée de puissance surfacique par satellite le pourcentage de temps pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé pour le radiotélescope de Kashima.

FIGURE 47

**Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour une puissance surfacique de  $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$  pour le radiotélescope de Kashima (QZSS)**

Le pourcentage de temps maximal pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé est de 64%. Sur 12,4% (288 cellules) de la surface du ciel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé pendant 2% du temps



Le niveau des rayonnements non désirés des satellites QZSS est calculé au § 10.2.4.3.2 comme étant de  $-203 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ ; cette valeur est donc de 2 dB inférieure au niveau de puissance surfacique déterminé ci-dessus.

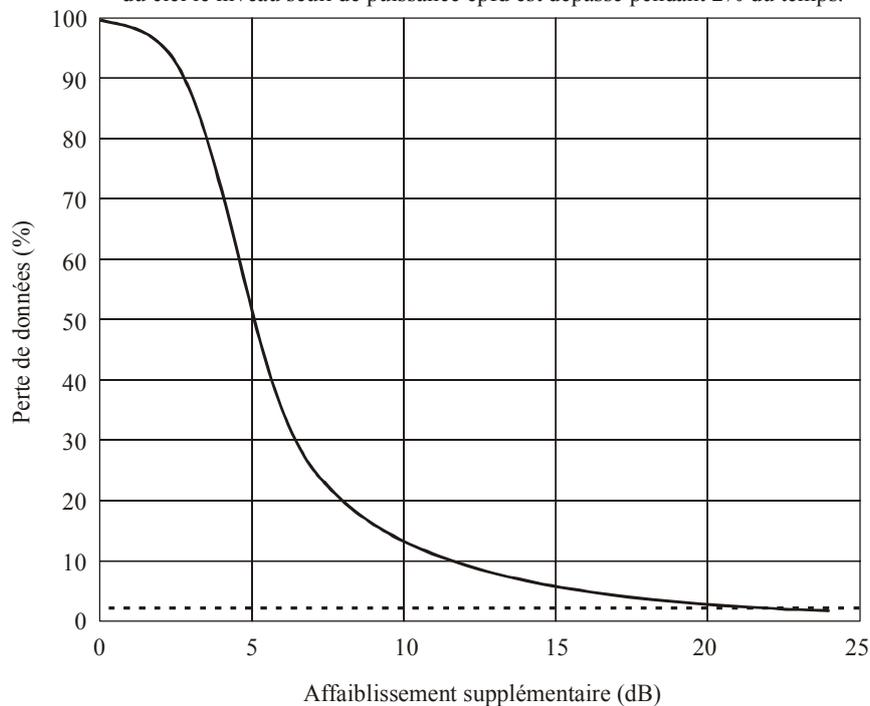
#### 10.4.2.4 GLONASS

La Fig. 48 indique le pourcentage de perte de données dans une largeur de bande de 20 kHz centrée sur la fréquence 1 610,6 MHz, en fonction de l'affaiblissement ajouté à l'affaiblissement qu'offriraient les filtres dont sont actuellement équipés les satellites GLONASS (Fig. 39).

FIGURE 48

**Pourcentage de perte de données en fonction de l'affaiblissement venant s'ajouter à la puissance surfacique donnée dans le Tableau 34 pour la fréquence 1 610,6 MHz**

Le pourcentage du temps maximum pendant lequel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé est de 64%. Sur 12,4% (288 cellules) de la surface du ciel le niveau seuil de puissance epfd est dépassé pendant 2% du temps.



Rap 2091-48

Cette Figure fait apparaître que le pourcentage de perte de données se situera autour de 99,8% sur l'ensemble du ciel si tous les futurs satellites GLONASS rayonnent aux mêmes niveaux de puissance surfacique que les satellites GLONASS équipés du filtre décrit dans la Fig. 39. Pour respecter le pourcentage de perte de données autorisé de 2%, il faudrait un affaiblissement supplémentaire de 22 dB.

Les Fig. 49 et 50 indiquent le pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel à la fréquence 1 610,6 MHz, respectivement pour les niveaux de puissance surfacique donnés dans le Tableau 37 et pour les niveaux de puissance surfacique qui ont été affaiblis de 22 dB supplémentaires.

Il convient de noter que pour une excursion par rapport à la fréquence 1 610,6 MHz de 200 kHz seulement (fréquence 1 610,8 MHz), pour respecter le pourcentage de perte de données autorisé de 2%, il faudrait ajouter un affaiblissement supplémentaire de 14,5 dB et non de 22 dB, compte tenu des caractéristiques du filtre (voir la Fig. 39).

FIGURE 49

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour les niveaux de puissance surfacique donnés dans le Tableau 37, à 1 610,6 MHz

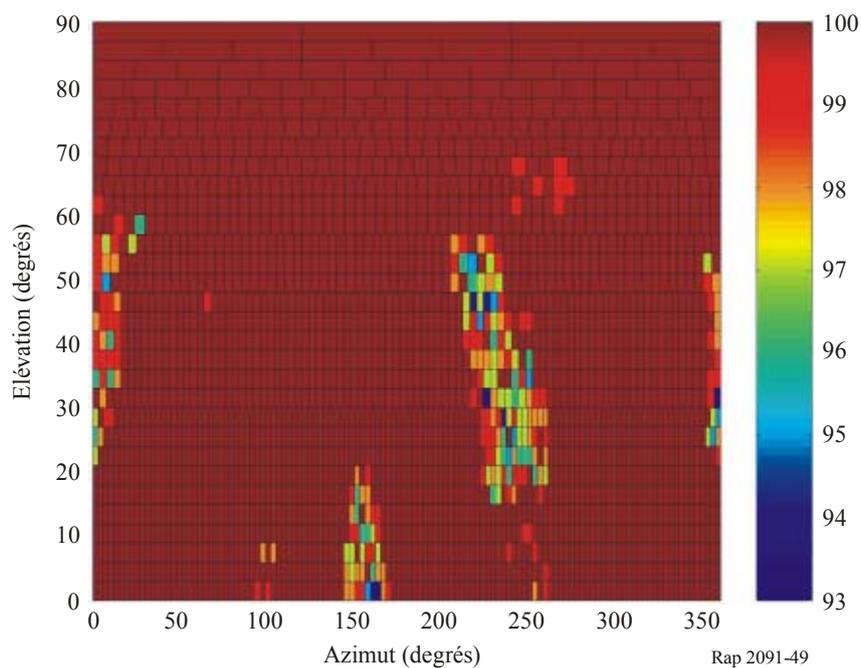
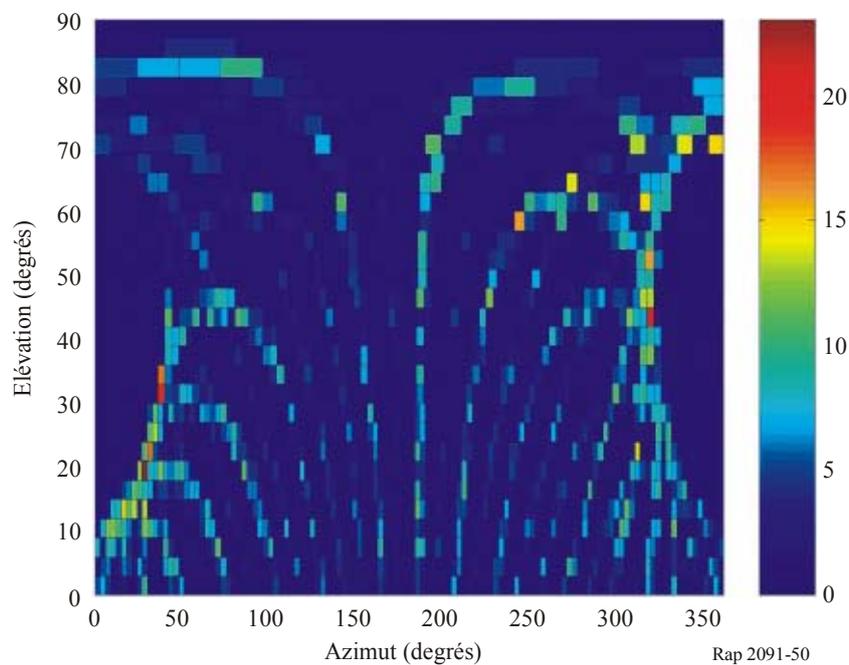


FIGURE 50

Pourcentage de perte de données sur l'ensemble du ciel pour un affaiblissement supplémentaire de 22 dB, à 1 610,6 MHz



### 10.4.3 Valeurs obtenues

Les niveaux de puissance surfacique des rayonnements non désirés donnés dans les Tableaux 26, 29, 32 et 37 pour les satellites GALILEO, GPS, QZSS et GLONASS font apparaître que les systèmes GALILEO, GPS et QZSS du SRNS respecteront le niveau seuil de puissance  $epfd$  calculé à partir de la Recommandation UIT-R RA.769 avec une marge respectivement de 2, 3,3 et 2 dB.

Toutefois, le système GLONASS du SRNS ne respectera pas de 22 dB le niveau seuil de puissance  $epfd$  calculé à partir de la Recommandation UIT-R RA.769 dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

## 10.5 Techniques de réduction des brouillages

### 10.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour  $G/T$ , c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points source. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement, à un certain accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respecte le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence. Elle ne peut être appliquée toutefois que lorsque le pourcentage de perte de données est suffisamment bas.

### 10.5.2 Service de radionavigation par satellite

Deux techniques de limitation des brouillages différentes au moins peuvent être appliquées pour réduire le niveau des rayonnements non désirés causés par les satellites du SRNS:

- le filtrage;
- l'utilisation d'un plan de fréquence amélioré.

Les paragraphes ci-après décrivent comment ces deux techniques sont appliquées aux systèmes du SRNS existants.

A l'origine, deux systèmes du SRNS ont commencé à être exploités dans la bande 1 559-1 610 MHz, utilisant tous les deux la modulation par étalement de spectre. Ces deux systèmes ont commencé à être exploités sans que leurs émissions ne soient filtrées et des brouillages causés par ces deux systèmes aux stations de radioastronomie ont été signalés dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz.

Les rayonnements non désirés dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz causés par l'un des systèmes initialement mis en exploitation fonctionnant à des fréquences plus basses dans la bande du SRNS ont été réduits, à la satisfaction des radioastronomes, grâce à l'utilisation de filtres dans les satellites de ce système lancés après que les brouillages aient été signalés (voir le § 10.2.4.2.2 ci-dessus).

L'autre système a commencé à être exploité dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz alors que l'attribution de cette bande au service de radioastronomie était toujours à titre secondaire. Pour améliorer la situation dans cette bande en ce qui concerne les brouillages, un accord a été conclu entre l'opérateur du satellite et l'IUCAF (Inter-Union Commission on Frequency Allocations for Radio Astronomy and Space Science), qui représente les radioastronomes dans le monde entier (Document CMR93/43). Cet accord prévoit que les critères de protection applicables au service de radioastronomie devront être respectés progressivement, après quelques années. Conformément à cet accord le plan de disposition des canaux a été révisé et les transmissions par satellite ont été basculées sur des fréquences encore plus au-dessous de la bande 1 610,6-1 613,8 MHz. Les nouveaux satellites ont également été équipés de filtres supplémentaires (voir la Fig. 39) permettant de réduire les rayonnements hors bande et les niveaux seuils conformément à la Recommandation UIT-R RA.769.

Les filtres mentionnés sont installés entre l'antenne d'émission et chaque émetteur rayonnant des signaux de navigation en bande L, par sommation des puissances en phase.

### 10.5.3 Impact potentiel

#### 10.5.3.1 RAS

*Performance des lobes latéraux de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant des stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie aux rayonnements du sol, et pourraient réduire leur gain dans le faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquences:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration total requis pour faire l'observation, ce qui équivaut à une perte de la capacité en canaux du télescope.

Si un système du SRNS dépasse le niveau seuil de puissance  $epfd$ , calculé à partir de la Recommandation UIT-R RA.769, dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, l'utilisation de cette bande par le service de radioastronomie pour les observations de la molécule hydroxyle ne sera peut-être pas possible.

#### 10.5.3.2 SRNS

Les solutions matérielles comme l'installation de filtres peuvent être difficiles à mettre en œuvre. Dans les antennes actives multiéléments, il faudra peut-être un filtre pour chaque élément d'antenne, ce qui va accroître le poids du satellite. Compte tenu des pertes liées aux filtres, il faudra des émetteurs plus puissants, qui à leur tour, exigeront plus de puissance de transmission et donc de plus gros dispositifs solaires. Cela va encore augmenter le poids. De plus, un satellite plus gros et plus lourd peut nécessiter un plus gros lanceur. L'impact financier peut être considérable. Les perfectionnements techniques de la conception des filtres peuvent atténuer ce problème. L'installation de filtres dans le système peut être plus facile à gérer, si en particulier elle est prise en considération au stade de la conception du système.

L'installation de filtres sur les satellites GLONASS a eu les conséquences importantes suivantes:

- La mise en phase des émissions transmises constituant le signal de navigation sur une seule et même fréquence devient très complexe. L'absence de mise en phase se traduit par une distorsion du diagramme de rayonnement d'antenne et par une perte de puissance d'émission du signal de navigation.
- On a constaté des affaiblissements supplémentaires dans la bande passante des filtres, ce qui réduit l'intensité du signal de navigation émis.
- On a constaté des retards plus importants dans la transmission du signal de modulation dans la bande L1, ce qui introduit une erreur supplémentaire de compensation des irrégularités ionosphériques pour les utilisateurs.

La Fédération de Russie estime que les conditions précédemment convenues entre l'IUCAF et l'administration du satellite GLONASS ont été remplies.

La nécessité de réduire encore plus les rayonnements non désirés dans la bande de radioastronomie, sans parler de l'affaiblissement fourni par le filtre décrit dans la Fig. 39, aggraverait les problèmes énumérés ci-dessus. Si les signaux de navigation n'étaient pas pris en compte dans la solution de navigation, l'utilisation du système GLONASS aux fins de sécurité de vie humaine serait compromise.

Etant donné que l'on a commencé à produire des satellites GLONASS équipés de filtres, les caractéristiques des filtres ne changeront dans un avenir proche.

## 10.6 Résultats des études

Dans la bande considérée, les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie, comme indiqué au § 10.1.3, peuvent être respectés par le service actif pour les observations VLBI et les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique lorsque des techniques de réduction des brouillages sont mises en œuvre. Aucune observation du continuum avec une seule antenne parabolique n'est faite dans cette bande. Les résultats des analyses au § 10.4 font apparaître que pour un système existant, un système en cours de déploiement et un autre système du SRNS planifié, qui tous fonctionnent ou, selon les prévisions, fonctionneront dans la bande 1 559-1 610 MHz, les niveaux des rayonnements non désirés dans la bande 1 610-1 613,8 MHz peuvent respecter les critères de protection applicables au service de radioastronomie si des techniques de réduction des brouillages sont mises en œuvre. Ces résultats montrent également que ce n'est pas le cas pour un autre système existant fonctionnant dans la même bande.

## 11 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 613,8-1 626,5 MHz

### 11.1 Service de radioastronomie

#### 11.1.1 Bande attribuée

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire.

Conformément au numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie dans cette bande.

#### 11.1.2 Type d'observations

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH (radical oxyhydre). La raie OH, qui a une fréquence de repos de 1 612 MHz, est une des plus importantes raies spectrales pour la radioastronomie, et figure comme telle dans la Recommandation UIT-R RA.314. OH a été le premier radical cosmique à être détecté à certaines fréquences radioélectriques (1963), et continue d'être un puissant outil de recherche. OH produit quatre raies spectrales, à des fréquences d'approximativement 1 612, 1 665, 1 667 et 1 720 MHz, qui ont toutes été observées dans notre propre galaxie, aussi bien que dans d'autres galaxies externes. L'étude des raies OH fournit des informations sur toute une série de phénomènes astronomiques, par exemple, sur la formation de protoétoiles et sur l'évolution des étoiles. Pour interpréter la plupart des observations faites sur les raies OH, il est nécessaire de mesurer l'intensité relative de plusieurs de ces raies. Si l'on ne peut plus observer l'une quelconque de ces raies, on ne pourra plus étudier certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, selon lequel une concentration de radicaux OH rayonne «de façon cohérente», créant un rayonnement à bande étroite. Ces raies sont légèrement élargies en raison des conditions physiques de cette concentration. Le mouvement de ces concentrations par rapport à la Terre induit un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, donne lieu à un spectre plus complexe comprenant un certain nombre de profils de raies gaussiens superposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause

de décalages Doppler différents). La largeur de bande attribuée est nécessaire pour traiter l'étalement et le glissement du spectre par des mouvements différentiels et totaux de la source.

A certaines étapes de leur évolution, certaines classes d'étoiles ne rayonnent que sur la raie à 1 612 MHz. L'étude de cette raie permet aux astronomes d'évaluer des propriétés physiques de ces étoiles comme le taux d'émission de gaz par les étoiles et son recyclage dans le milieu interstellaire. Certaines propriétés de ces étoiles ne peuvent pas être déduites d'autres observations astronomiques. Les mesures d'émission d'OH par les étoiles ont aussi été utilisées pour estimer la distance au centre de la galaxie, pour mesurer la masse du corps central de notre galaxie, et pour étudier la distribution spatiale des composants moléculaires de notre galaxie et de galaxies externes. Finalement, des émissions maser extrêmement fortes ont été détectées près du noyau d'un certain nombre de galaxies externes. Cette émission mégamaser d'OH provenant de noyaux galactiques permet aux astronomes d'étudier la température et la densité du gaz moléculaire en leur centre.

La raie spectrale OH est aussi observée dans les comètes; il y a très peu de souplesse dans la planification des observations de ces «cibles d'opportunité».

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans un grand nombre de canaux de fréquence (habituellement 256 à 4 096) répartis sur la bande de fréquences utilisée. La largeur et le nombre de canaux doivent être suffisamment grands pour reproduire de façon fidèle le spectre de l'émission reçue par le radiotélescope. On utilise généralement des largeurs de bande instantanées d'environ 0,2 à 20 kHz par canal de fréquence, selon le programme scientifique.

Les sources sont petites, et les mesures de leur taille et de leur structure nécessitent souvent des observations utilisant la technique d'interférométrie à très grande base (VLBI).

### 11.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, le seuil de puissance surfacique est de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Cette bande n'est utilisée que pour les observations de raies radioélectriques et ne l'est pas pour les observations du continuum.

S'agissant des brouillages gênants causés par des systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes du SMS et du SRNS.

Les seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus que les données scientifiques recueillies sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

#### 11.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées sur un certain nombre de sites de radioastronomie de nombreux pays, dans le monde entier. Elles sont parfois effectuées sur des cibles d'opportunité, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements transitoires dans cette raie. Des observations VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande, parfois entre les réseaux VLBI nord-américain et européen.

Les observations VLBI, où les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages, ce qui atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz, seuil qui a été prévu pour les observations VLBI, mais qui n'est pas inclus dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement 256 à 4 096) canaux de fréquence répartis dans la bande. Le nombre de canaux et leur largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par la ou les sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les émissions des raies intéressantes (spectres de raies), et ensuite à une fréquence qui est décalée par rapport à celle des émissions des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et les autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur bande magnétique ou d'autres supports, avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## 11.2 Service mobile par satellite

### 11.2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 613,8-1 626,5 MHz a été attribuée au service mobile par satellite (espace vers Terre) à titre secondaire, à l'échelle mondiale par la CAMR-92. La CAMR-92 a également pris les décisions suivantes en ce qui concerne le service de radioastronomie dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz:

- a) un relèvement du statut secondaire au statut primaire en ce qui concerne l'attribution existante à la radioastronomie dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz; et
- b) l'adoption du numéro 5.372 du RR, qui dispose: «Les stations du service de radiorepérage par satellite et du service mobile par satellite ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations du service de radioastronomie qui utilisent la bande 1 610,6-1 613,8 MHz (le numéro **29.13** du RR s'applique).» Ce renvoi s'applique à la bande 1 610-1 626,5 MHz.

### 11.2.2 Application

La bande 1 610-1 626,5 MHz est attribuée aux liaisons montantes du SMS, dans le monde entier, à titre primaire, avec quelques contraintes.

La bande 1 613,8-1 626,5 MHz est attribuée au SMS (espace vers Terre) à titre secondaire, dans le monde entier. Le système HIBLEO-2 est actuellement le seul système utilisant cette attribution dans le sens Terre vers espace et le sens espace vers Terre, tandis que le système HIBLEO-4 utilise la bande dans le sens Terre vers espace. HIBLEO-2 est un système à satellites pouvant fonctionner dans la bande 1 616-1 626,5 MHz, mais autorisé à fonctionner uniquement dans la bande 1 621,35-1 626,5 MHz.

### 11.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Aucune limite réglementaire n'est imposée aux émissions hors bande dans le Règlement des radiocommunications. Cependant, les numéros 5.28 à 5.31 disposent que, entre autres, par définition, les stations d'un service secondaire ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations d'un service primaire auxquelles des fréquences ont été assignées antérieurement ou sont susceptibles d'être assignées ultérieurement ni ne peuvent prétendre à la protection contre les brouillages préjudiciables causés par les stations d'un service primaire. Cette disposition s'applique à la fois à la protection contre les émissions dans la bande et les émissions hors bande et devrait s'appliquer aux liaisons descendantes secondaires du SMS, sans considération des niveaux spécifiés de puissance surfacique. Il n'y a donc pas de raison évidente de codifier des limites spécifiques de puissance surfacique.

Au numéro 29.13 du RR, il est dit que «les administrations doivent prendre note des Recommandations pertinentes de l'UIT-R afin de limiter les brouillages causés par d'autres services au service de radioastronomie».

### 11.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 11.1.3.

### 11.4 Evaluation du brouillage

#### 11.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Voir au § 11.2.3 les références aux Recommandations pertinentes de l'UIT-R relatives aux systèmes non OSG.

#### 11.4.2 Calcul du niveau de brouillage

En théorie on a estimé que les rayonnements non désirés, exprimés sous forme d'une densité spectrale de puissance cumulative des émissions du satellite HIBLEO-2 dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz se situaient entre  $-214$  dB(W/(m<sup>2</sup>/Hz)) et  $-223$  dB(W/(m<sup>2</sup>/Hz)) sur certains sites de radioastronomie, dans des conditions de pleine charge.

#### 11.4.3 Valeurs obtenues

Un programme d'essais mené en collaboration par HIBLEO-2 et l'observatoire national américain de radioastronomie (NRAO), a permis de mesurer en 1998 des valeurs de densité spectrale allant de  $-220$  à  $-240$  dB(W/(m<sup>2</sup>/Hz)) sur ces sites. Ces valeurs concernent les canaux dits vocaux qui sont activés lorsqu'il y a une communication. De plus, on a constaté que le système HIBLEO-2 rayonne à tout moment des signaux de radiodiffusion. Les spectres des canaux de radiodiffusion ont mis en évidence 9 à 10 crêtes étroites (de moins de 40 kHz de large) dans la bande attribuée à la radioastronomie. Les valeurs de crête de densité spectrale de puissance s'établissaient en moyenne à  $-227$  dB(W/(m<sup>2</sup>/Hz)) sur 90 ms. Du fait de la discordance entre les paramètres d'émission et autres du système à satellites et les caractéristiques du récepteur et de l'antenne de radioastronomie (par exemple, les radiotélescopes ne sont pas conçus pour la poursuite des satellites; les largeurs de bande disponibles des récepteurs diffèrent de 20 kHz, etc.), il était difficile d'estimer la densité

spectrale de puissance qui en résulterait dans les conditions de la Recommandation UIT-R RA.769, qui spécifie un niveau de brouillage gênant de  $-238 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ .

## **11.5 Techniques de réduction des brouillages**

### **11.5.1 Service de radioastronomie**

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour réduire les rayonnements non désirés provenant des émetteurs des satellites sur un radiotélescope. Lorsque ces méthodes sont insuffisantes, d'autres solutions peuvent être envisagées, comme un accord entre l'exploitant du système à satellites et les observatoires de radioastronomie.

Aucune disposition du Règlement des radiocommunications ne prévoit de tels accords de coordination entre le service de radioastronomie et les services actifs. Cependant, on trouve des dispositions générales pour la coordination et la consultation dans l'Article 9.

Les accords de coordination ne peuvent être conclus qu'avec l'assentiment mutuel explicite des deux parties concernés, c'est-à-dire en principe, l'exploitant du satellite et l'observatoire de radioastronomie affecté. Pour les liaisons descendantes des satellites, la coordination au niveau national entre un exploitant de système à satellites et les sites de radioastronomie n'est possible que lorsque l'empreinte de l'émission du satellite est plus petite que les dimensions géographiques du pays avec lequel la coordination est recherchée et que la visibilité de la station spatiale émettrice par une station de radioastronomie ne va pas au-delà des frontières de ce pays. Il est nécessaire de trouver des solutions internationales lorsque la densité géographique locale des stations de radioastronomie fonctionnant à 1,6 GHz est telle qu'à un moment donné, des stations de radioastronomie de plus d'un pays se trouvent dans l'empreinte ou en visibilité d'un même satellite.

En général, les conditions de tels arrangements ne sont pas immuables dans le temps et doivent être révisées en fonction des besoins. Il faut définir des étapes. En cas de désaccord, on doit définir a priori, dans le texte de l'accord, des règles d'arbitrage par accord mutuel.

Plusieurs accords ont été conclus entre les exploitants du système HIBLEO-2 et divers membres de la communauté des radioastronomes. L'élément commun de ces accords est que les rayonnements cumulatifs du système HIBLEO-2 ne dépasseront pas les niveaux seuils donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour les observations avec une antenne parabolique dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz faites aux observatoires concernés pendant chaque jour comprise entre 4 et 8 heures. Certains sites de radioastronomie ont accepté de notifier à l'avance leur intention de faire des observations dans cette bande.

### **11.5.2 Service mobile par satellite**

Diverses méthodes comme le filtrage peuvent être employées pour réduire les rayonnements non désirés. Elles devraient être prises en considération dès la conception de la nouvelle station spatiale.

Lorsque de telles méthodes sont insuffisantes, d'autres solutions, comme un accord entre l'exploitant d'un système à satellites et les observatoires de radioastronomie, peuvent être envisagées (voir le § 11.5.1).

### **11.5.3 Impact potentiel**

#### **11.5.3.1 Service de radioastronomie**

Les accords de coordination entre l'exploitant d'un système à satellites et les observatoires de radioastronomie, à condition qu'ils soient réalisables, peuvent avoir des conséquences négatives sur la planification des observations, sur la souplesse d'adaptation de l'observatoire aux besoins de la communauté des utilisateurs, et accroître la charge administrative. Les conséquences nettes d'un accord de coordination sur la capacité de fonctionnement d'un observatoire ne devraient pas le rendre incapable de satisfaire aux normes de productivité courantes.

#### **11.5.3.2 Service mobile par satellite**

Les solutions matérielles comme l'installation de filtres peuvent être difficiles à mettre en œuvre. Dans les antennes actives à plusieurs éléments, on peut avoir besoin de filtres pour chaque élément d'antenne, ce qui va accroître le poids du satellite. Compte tenu des pertes dues aux filtres, il faudra des émetteurs plus puissants, qui à leur tour vont exiger plus de puissance de transmission, et donc de plus gros dispositifs solaires. Cela va encore augmenter le poids. De plus, un satellite plus gros et plus lourd peut nécessiter un plus gros lanceur. L'impact financier peut être considérable. Les perfectionnements techniques de la conception des filtres peuvent atténuer ce problème. La mise en œuvre de filtres dans le système peut être plus facile à gérer si elle est prise en considération au stade de la conception du système.

Il convient de noter cependant que, conformément à l'accord de coordination signé entre l'exploitant du système à satellites HIBLEO-2 et la communauté européenne des radioastronomes, la puissance surfacique cumulative du système HIBLEO-2 ne dépassera pas les niveaux spécifiés dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour les stations de radioastronomie situées en Europe à partir du 1er janvier 2006. Ceci indique que les techniques de réduction des brouillages adéquates devraient être mises en œuvre avant cette date.

Cependant, si le réapprovisionnement en satellites se prolonge au-delà du 1er janvier 2006, il sera difficile d'utiliser des filtres améliorés sur les satellites toujours en orbite ayant des filtrages inadéquats, et la mise en œuvre d'autres techniques de réduction des brouillages pourrait avoir une incidence économique négative.

### **11.6 Résultats des études**

#### **11.6.1 Résumé**

Les questions de réduction des brouillages ont été réglées par la conclusion d'accords entre les exploitants du système HIBLEO-2 et divers exploitants de systèmes de radioastronomie. En utilisant de telles techniques de réduction des brouillages, il devrait être possible de respecter les critères de protection pour les observations de raies spectrales, comme décrit au § 11.1.3, et pour les observations VLBI. Aucune observation du continuum avec une seule antenne parabolique n'est faite dans cette bande.

#### **11.6.2 Conclusions**

La mise en œuvre de techniques de réduction des brouillages devrait permettre de faire des observations VLBI et des observations de raies spectrales efficaces dans cette bande.

## **12 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes OSG du service mobile par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz**

### **12.1 Service de radioastronomie**

#### **12.1.1 Bande attribuée**

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au service de radioastronomie à titre primaire.

Conformément au numéro 5.149 du RR, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie dans cette bande.

#### **12.1.2 Type d'observations**

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH (radical oxhydryle). La raie OH, qui a une fréquence de repos de 1 612 MHz, est une des plus importantes raies spectrales pour la radioastronomie, et figure comme telle dans la Recommandation UIT-R RA.314. OH a été le premier radical cosmique à être détecté à des fréquences radioélectriques (1963), et continue d'être un puissant outil de recherche. OH produit quatre raies spectrales, à des fréquences d'approximativement 1 612, 1 665, 1 667 et 1 720 MHz, qui ont toutes été observées dans notre propre galaxie, aussi bien que dans d'autres galaxies externes. L'étude des raies OH fournit des informations sur toute une série de phénomènes astronomiques, par exemple, sur la formation de protoétoiles et sur l'évolution des étoiles. Pour interpréter la plupart des observations faites sur les raies OH, il est nécessaire de mesurer l'intensité relative de plusieurs de ces raies. Si on ne peut plus observer l'une quelconque de ces raies, on ne pourra plus étudier certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «de façon cohérente», créant un rayonnement à bande étroite. Ces raies sont légèrement élargies en raison des conditions physiques de cette concentration. Les mouvements de ces concentrations par rapport à la Terre induisent un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, donne naissance à un spectre plus complexe, composé d'un certain nombre de profils de raies gaussiens superposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause d'effets Doppler différents). La largeur de bande attribuée est nécessaire pour traiter l'étalement et le glissement du spectre par des mouvements différentiels et totaux de la source.

A certaines étapes de leur évolution, certaines classes d'étoiles ne rayonnent que sur la raie à 1 612 MHz. L'étude de cette raie permet aux astronomes d'évaluer certaines propriétés physiques de ces étoiles comme le taux d'émission de gaz par les étoiles et son recyclage dans le milieu interstellaire. Certaines propriétés de ces étoiles ne peuvent pas être déduites d'autres observations de radioastronomie. Les mesures d'émission d'OH par les étoiles ont aussi été utilisées pour estimer la distance jusqu'au centre de la galaxie, pour mesurer la masse du corps central de notre galaxie, et pour étudier la distribution spatiale des composants moléculaires dans notre galaxie et dans des galaxies externes. Enfin, des émissions maser extrêmement fortes ont été détectées près du noyau d'un certain nombre de galaxies externes. Cette émission mégamaser d'OH provenant de noyaux galactiques permet aux astronomes d'étudier la température et la densité du gaz moléculaire en leur centre.

La raie spectrale OH est aussi observée dans les comètes; il y a peu de souplesse dans la planification des observations de ces «cibles d'opportunité».

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans un grand nombre de canaux de fréquence (habituellement 256

à 4 096) répartis dans la bande de fréquences utilisée. La largeur et le nombre de canaux doivent être suffisamment grands pour reproduire de façon fidèle le spectre de l'émission reçue par le radiotélescope. On utilise généralement des largeurs de bande instantanées d'environ 0,2 à 20 kHz par canal de fréquence, selon le programme scientifique.

Les sources sont petites, et les mesures de leur taille et de leur structure nécessitent souvent des observations utilisant la technique d'interférométrie à très grande base (VLBI).

### 12.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, la limite seuil de puissance surfacique est de  $-194 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Cette bande n'est utilisée que pour les observations de raies radioélectriques et ne l'est pas pour les observations du continuum.

Les seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume des données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

### 12.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées sur un certain nombre de sites de radioastronomie dans de nombreux pays, à l'échelle mondiale. Elles sont parfois effectuées sur des cibles d'opportunité, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements transitoires dans cette raie. Les observations VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande, parfois entre les réseaux VLBI nord-américain et européen.

Les observations VLBI, où les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages, ce qui atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  applicable dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz, niveau qui a été prévu pour les observations VLBI, mais qui n'est pas inclus dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Les observations de raies spectrales sont faites à l'aide de spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance dans de nombreux (habituellement 256 à 4 096) canaux de fréquence répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par la ou les sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les émissions des raies intéressantes (spectres de raies), et

ensuite à une fréquence qui est décalée par rapport à celle des émissions de la raie, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions de bruit non désirées et les autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur bande magnétique ou d'autres supports, avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## 12.2 Service mobile par satellite

### 12.2.1 Bande d'émission attribuée

1 525-1 559 MHz (espace vers Terre).

### 12.2.2 Application

Service mobile par satellite.

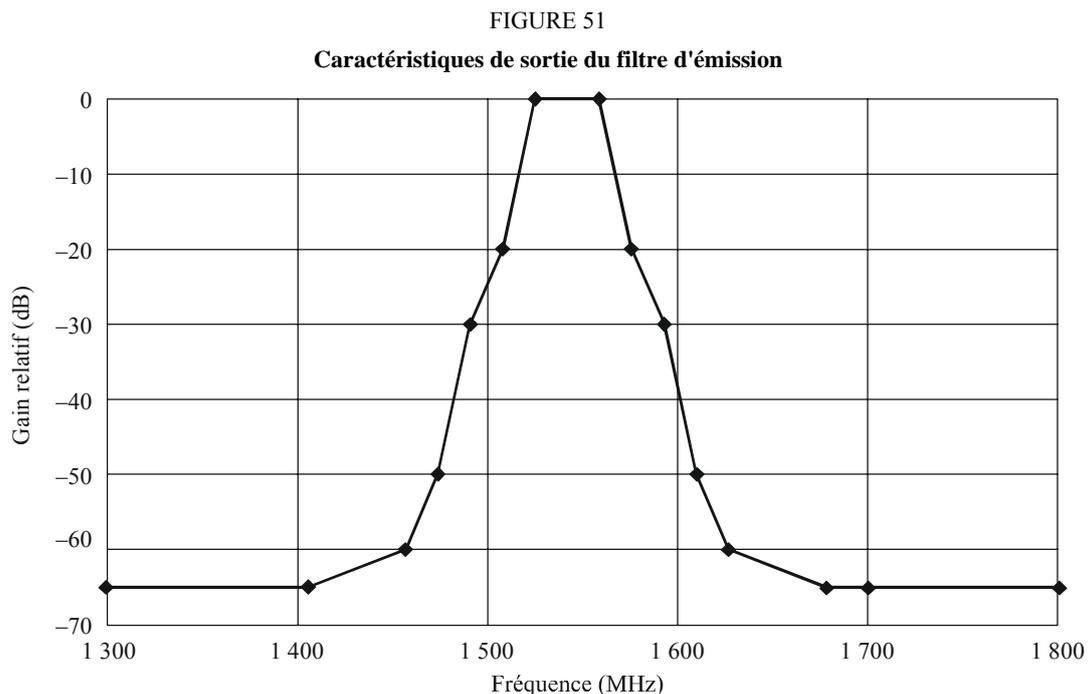
### 12.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Appendice 3 du RR.

L'affaiblissement requis est de  $43 + 10 \log P$  dBc ou 60 dBc, en prenant la valeur la moins contraignante, où  $P$  est la puissance de crête à l'entrée de l'antenne en watt dans une largeur de bande quelconque de 4 kHz.

### 12.2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Le gain d'antenne est de 41 dBi. Les caractéristiques de sortie du filtre d'émission sont indiquées à la Fig. 51.



### 12.2.5 Caractéristiques de fonctionnement

La puissance de crête typique rayonnée dans le faisceau ponctuel d'un satellite OSG du SMS à l'entrée de l'antenne est de 16 dBW sur une largeur de bande de 5 MHz.

### 12.2.6 Niveau d'émission dans la bande

Le niveau d'émission dans la bande est de -15 dBW dans une largeur de bande de 4 kHz.

### 12.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 12.1.3.

## 12.4 Evaluation du brouillage

### 12.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Les paramètres «densité spectrale de puissance de crête dans la bande», «gain d'antenne de crête» et «affaiblissement mesuré du filtre de sortie de la bande 1 525-1 559 MHz à différentes fréquences» servent à déterminer la puissance surfacique à la surface de la Terre.

### 12.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Compte tenu des performances attendues du filtre de l'émetteur utilisé pour la bande 1 525-1 559 MHz, les niveaux de puissance types à la sortie de ce filtre, les niveaux de densité de p.i.r.e. à la sortie de l'antenne et la puissance surfacique produite à la surface de la Terre à différentes fréquences sont indiqués dans le Tableau 38.

### 12.4.3 Valeurs obtenues

La valeur obtenue est de -192 dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 4 kHz.

En traduisant ces valeurs pour des observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique, on obtient une valeur de puissance surfacique de -185 dB(W/m<sup>2</sup>) dans une largeur de bande de 20 kHz pour des observations de raies spectrales: sur la base des paramètres ci-dessus pour un système mobile à satellites OSG d'un opérateur, il s'ensuit qu'il manque 9 dB pour satisfaire aux critères de protection applicables aux observations de raies spectrales avec une antenne parabolique.

TABLEAU 38

**Valeurs attendues de densité spectrale de puissance, de densité de p.i.r.e. et de puissance surfacique à la surface de la Terre du satellite Inmarsat-4 dans la bande de fréquences 1 525-1 559 MHz**

Fréquence (MHz)	Densité spectrale de puissance à la sortie du filtre (dB(W/4 kHz))	Densité de p.i.r.e. à la sortie de l'antenne (dB(W/4 kHz))	Puissance surfacique à la surface de la Terre (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 300	-80	-39	-202
1 406	-80	-39	-202
1 457	-75	-24	-197
1 474	-65	-14	-187
1 491	-45	-4	-167
1 508	-35	6	-157

TABLEAU 38 (*fin*)

Fréquence (MHz)	Densité spectrale de puissance à la sortie du filtre (dB(W/4 kHz))	Densité de p.i.r.e. à la sortie de l'antenne (dB(W/4 kHz))	Puissance surfacique à la surface de la Terre (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
1 525	-15	26	-137
1 559	-15	26	-137
1 576	-35	6	-157
1 593	-45	-4	-167
1 610	-65	-14	-187
1 627	-75	-24	-197
1 678	-80	-39	-202
1 700	-80	-39	-202
1 800	-80	-39	-202

## 12.5 Techniques de réduction des brouillages

### 12.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour G/T, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement, à un certain accroissement correspondant des niveaux de lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 12.5.2 Service mobile par satellite

Pour améliorer les niveaux donnés dans le Tableau 37, les techniques de réduction des brouillages suivantes devraient être prises en considération lors de la conception d'une nouvelle station spatiale:

- la réponse en fréquence large bande de l'antenne;
- les caractéristiques d'affaiblissement des filtres intermédiaires;
- le gain de réponse en fréquence des amplificateurs de puissance à semi-conducteurs;
- les caractéristiques de modulation des porteuses individuelles;
- l'affaiblissement des produits d'intermodulation par rapport à la puissance des porteuses.

### 12.5.3 Impact potentiel

#### 12.5.3.1 Service de radioastronomie

Sur la base de l'analyse du § 12.4, et de la nature des techniques de réduction des brouillages dont la liste figure au § 12.5.1, il pourrait y avoir un peu de perte de temps d'observation lorsque les

satellites traversent les lobes latéraux principaux ou internes de l'antenne. L'importance de la perte dépendra de l'antenne du radiotélescope et du nombre de satellites. La question de la perte des données est examinée dans la Recommandation UIT-R RA.1513.

### **12.5.3.2 Service mobile par satellite**

Les techniques de réduction des brouillages exposées au § 12.5.2 sont réputées techniquement faisables pour les systèmes OSG.

## **12.6 Résultats des études**

### **12.6.1 Résumé**

Sur la base des paramètres d'un système OSG du service mobile par satellite d'un opérateur et compte tenu des facteurs de réduction des brouillages énumérés au § 12.5.2, les niveaux des rayonnements non désirés provenant de ce système à satellites ne devraient pas vraisemblablement respecter les niveaux seuils de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie avec une seule antenne parabolique (voir le § 12.1.3). Aucune observation du continuum avec une seule antenne parabolique n'est effectuée dans cette bande.

### **12.6.2 Conclusions**

Les critères de protection sont satisfaits pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique et pour les observations VLBI.

## **13 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 690-2 700 MHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite et du service fixe par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 655-2 690 MHz**

### **13.1 Service de radioastronomie**

#### **13.1.1 Bande attribuée**

La bande 2 690-2 700 MHz a été attribuée à titre primaire aux services de radioastronomie, d'exploration de la Terre par satellite (passive) et de recherche spatiale (passive).

Le numéro 5.340 du RR dispose que, dans cette bande, «toutes les émissions sont interdites».

#### **13.1.2 Type d'observations**

Cette bande est intéressante avant tout pour l'étude des émissions du continuum des radiosources.

L'étude des émissions du continuum des radiosources est dictée par une considération générale: la nécessité d'avoir des observations échantillonnées de ces sources sur une très large gamme de fréquences. Les observations à des fréquences très variées aident à définir la forme des spectres des émissions rayonnées par ces sources, ce qui donne ensuite des informations sur les paramètres physiques – densités, températures et champs magnétiques – de ces sources et aussi sur leur durée de vie. La connaissance de ces paramètres physiques est essentielle pour notre compréhension des processus physiques à l'origine des rayonnements radioélectriques. De nombreuses radiosources extragalactiques se caractérisent par une «rupture» dans leur spectre non thermique dans la région comprise entre 1 et 3 GHz et il est essentiel de faire des mesures du continuum à environ 2,7 GHz pour définir avec précision une telle caractéristique spectrale.

C'est une bonne bande de fréquences pour les mesures du continuum, en partie en raison du faible rayonnement galactique de fond, et aussi parce que les récepteurs de radioastronomie sont d'excellente qualité et ont un très faible bruit à ces fréquences.

Cette bande est aussi utile pour les études galactiques des nuages d'hydrogène ionisé et du rayonnement général diffus de la galaxie. Dans la mesure où, à de telles fréquences, les radiotélescopes disponibles ont une résolution angulaire adéquate (faisceaux étroits, de l'ordre de 10 minutes d'arc pour les grands télescopes), de nombreuses études utiles du plan galactique ont été effectuées, y compris dans les régions du centre galactique qui est invisible aux longueurs d'onde optiques à cause de l'absorption interstellaire par les particules de poussière. Le centre de notre galaxie est peut-être sa région la plus importante et il ne peut être observé qu'aux longueurs d'onde infrarouges et radioélectriques, étant donné que ces longueurs d'onde ne sont pas affectées par les particules de poussière présentes dans l'espace interstellaire (les longueurs d'onde optiques sont absorbées et dispersées par ces particules de poussière). L'étude des noyaux des galaxies, y compris le noyau de la nôtre, est en passe de devenir un sujet extrêmement important, voire fondamental de l'astronomie.

Les problèmes qui peuvent être étudiés à propos de ces objets sont notamment les suivants: l'état de la matière, les possibilités d'existence de trous noirs dans les noyaux galactiques, les activités explosives et la production de doubles radiosources intenses provenant des noyaux galactiques, l'influence des noyaux galactiques sur la structure morphologique des galaxies, la formation des galaxies et des quasars, et bien d'autres sujets d'astrophysique majeurs.

Une étude importante aux longueurs d'ondes radioélectriques est la polarisation des rayonnements observée depuis les radiosources. On constate souvent que celles-ci ont une faible polarisation rectiligne, avec un angle de position qui dépend de la fréquence. Cela tient au fait que le milieu dans lequel se propagent les ondes radioélectriques avant de nous atteindre est composé de particules chargées, électrons et protons, en présence de champs magnétiques. La détermination du degré et de l'angle de polarisation nous donnent des informations sur les champs magnétiques et les densités électroniques du milieu interstellaire et, dans certains cas, sur la nature des sources émettrices elles-mêmes. Le degré de polarisation des ondes radioélectriques est plus élevé aux hautes fréquences. La bande de fréquences 2 690-2 700 MHz est importante pour les mesures de polarisation.

### 13.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées au service de radioastronomie à titre primaire. Dans la bande 2 690-2 700 MHz, pour les observations du continuum avec une seule antenne parabolique faites en utilisant la totalité de la largeur de bande de 10 MHz, le seuil de puissance surfacique est de  $-177$  dB(W/m<sup>2</sup>).

Cette bande n'est utilisée que pour les observations du continuum et ne l'est pas pour les observations de raies spectrales.

Les observations VLBI, dans lesquelles les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qu'atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $(-161$  dB(W/(m<sup>2</sup>)) pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 20 kHz.

S'agissant des brouillages gênants causés par les systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes du SFS.

Les seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de

radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation, mais alors, la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus que des données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et elle ne pourra plus assurer le service si on aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

#### **13.1.4 Caractéristiques de fonctionnement**

Les observations dans la bande 2 690-2 700 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites de radioastronomie dans de nombreux pays, à l'échelle mondiale. Elles sont parfois effectuées sur des cibles d'opportunité, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements non essentiels dans cette raie. Des observations VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande, parfois entre les réseaux VLBI nord-américain et européen.

En général, les observations sont faites de façon différentielle, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond peut être soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance rayonnée par la source (à la source) et à une ou plusieurs des positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, les rayonnements provenant de la source sont dissociés des autres contributions à la sortie du récepteur.

De larges zones de rayonnement peuvent être cartographiées en enregistrant les rayonnements à partir d'une grille de points couvrant la région concernée. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation d'un point de grille donne une indication de la puissance totale venant de cette position du ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à la moitié de l'ouverture du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points de grille ne devraient pas être espacés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur bande magnétique ou d'autres supports, avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

### **13.2 Bande active**

#### **13.2.1 Bande d'émission attribuée**

La sous-bande 2 655-2 670 MHz a été attribuée à titre primaire au service de radiodiffusion par satellite.

La sous-bande 2 670-2 690 MHz a été attribuée à titre primaire au service mobile par satellite (Terre vers espace), au service fixe par satellite (Terre vers espace) dans les Régions 2 et 3 et au service fixe par satellite (espace vers Terre) dans la Région 2.

Les numéros suivants s'appliquent à la sous-bande 2 655-2 670 MHz: numéros 5.149, 5.413, 5.415, 5.416 et 5.420 du RR, et les numéros suivants s'appliquent à la sous-bande 2 670-2 690 MHz:

numéros 5.149, 5.419 et 5.420 du RR. Les plus pertinents pour la question qui nous intéresse sont les suivants:

Le numéro 5.149 du RR dispose que, dans cette bande, «En assignant des fréquences aux stations des autres services ..., les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables».

Le numéro 5.413 du RR dispose que, «Dans la conception de systèmes de radiodiffusion par satellite dans les bandes situées entre 2 500 MHz et 2 690 MHz, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures nécessaires pour protéger le service de radioastronomie dans la bande 2 690-2 700 MHz».

Le numéro 5.415 du RR dispose que, dans cette bande, pour le service fixe par satellite fonctionnant dans les Régions 2 et 3, «Dans le sens espace vers Terre, la puissance surfacique à la surface de la Terre ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées à l'Article 21, Tableau 21-4».

### **13.2.2 Application**

Dans cette bande, il y a des services de radiodiffusion par satellite opérationnels qui desservent spécialement l'Inde. Ces services entrent dans la définition de distribution du SRS.

### **13.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

Des limites de puissance surfacique existent pour le SRS en réception communautaire et pour les systèmes du SFS (voir le Tableau 21-4 du RR).

### **13.2.4 Caractéristiques des émetteurs**

#### **13.2.4.1 Systèmes du SFS/SMS**

Sur la base des caractéristiques types des systèmes fonctionnant dans cette bande, les systèmes du SFS/SMS sont supposés utiliser une largeur de bande nécessaire de 20 MHz et fonctionner en utilisant la limite de puissance surfacique donnée dans l'Article 21:  $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  (c'est-à-dire  $-100 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

#### **13.2.4.2 Systèmes du SRS**

Sur la base des caractéristiques types des systèmes fonctionnant dans cette bande, les systèmes du SFS/SMS sont supposés utiliser une largeur de bande nécessaire de 18 MHz et fonctionner en utilisant la limite de puissance surfacique donnée à l'Article 21:  $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  (c'est-à-dire  $-100,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$ ).

### **13.2.5 Caractéristiques de fonctionnement**

Seuls les systèmes OSG sont visés dans les calculs suivants.

### **13.2.6 Niveau d'émission dans la bande**

Les niveaux de réception communautaire SRS et de puissance surfacique pour le SFS sont conformes avec ceux du Tableau 21-4 du RR.

## **13.3 Seuil de compatibilité**

Voir le § 13.1.3.

## 13.4 Evaluation du brouillage

### 13.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

#### 13.4.1.1 SMS/SFS

La Recommandation UIT-R SM.1541 donne un gabarit des rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande couvrant le cas des systèmes du SFS/SMS.

#### 13.4.1.2 SRS

Le service de radiodiffusion par satellite est un service à plein temps, en ce que les zones desservies vont recevoir le signal en permanence, avec le même spectre et la même puissance. Par ailleurs, aucune station de radioastronomie n'utilise la bande considérée en permanence. Si des problèmes de brouillage apparaissent, les systèmes à satellites OSG seront des émetteurs constants à des positions fixes dans le ciel, alors que les sources célestes vont défiler devant elles, portées par la rotation de la Terre, de sorte que le brouillage ne peut pas empêcher complètement l'observation des sources.

Le brouillage causé aux radiotélescopes à antenne unique va dégrader les observations d'un pourcentage qui est fonction de l'angle entre le ou les satellites et le point de visée de l'antenne, et il peut être évalué en utilisant des méthodes comme de la puissance surfacique équivalente (epfd) (voir le § 13.1.3).

Les calculs des niveaux de rayonnements non désirés en utilisant le gabarit des émissions hors bande pour les systèmes du SRS qui figurent maintenant dans la Recommandation UIT-R SM.1541 ont montré que, avec ce gabarit de dBc, dans certains cas le niveau des émissions dans le domaine des émissions hors bande peut être plus élevé que les niveaux des émissions dans la largeur de bande nécessaire. Donc, un nouveau gabarit des émissions hors bande a été élaboré pour le système SRS.

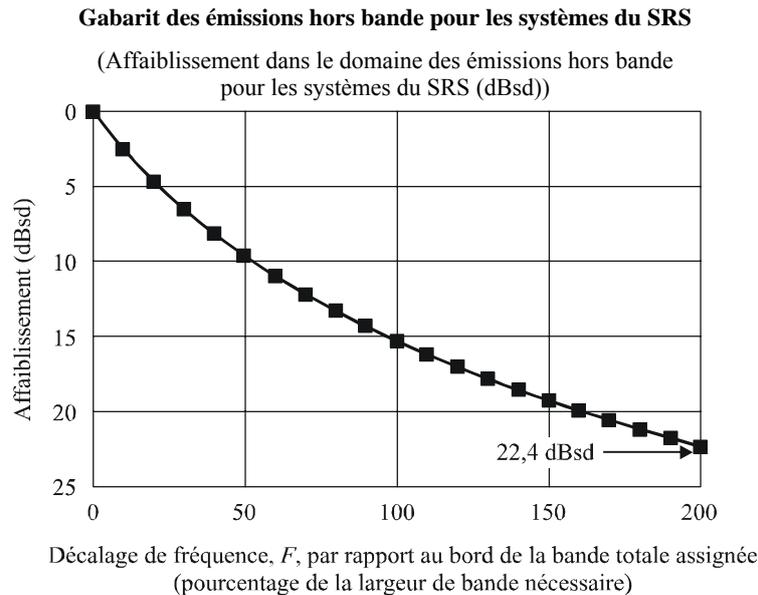
Les émissions hors bande d'une station fonctionnant dans les bandes attribuées au service de radiodiffusion par satellite devraient être affaiblies et ramenées au-dessous de la densité spectrale de puissance maximal, dans une largeur de bande de référence de 4 kHz (pour les systèmes fonctionnant au-dessus de 15 GHz, une largeur de bande de référence de 1 MHz peut être utilisée à la place de 4 kHz) dans la largeur de bande nécessaire, comme suit:

$$32 \log \left( \frac{F}{50} + 1 \right) \text{ dBsd}$$

où  $F$  est le décalage de fréquence par rapport au bord de la bande totale assignée, exprimé en pourcentage de la largeur de bande nécessaire. On note que le domaine des émissions hors bande commence aux bords de la bande totale assignée.

Le gabarit des émissions hors bande s'étend jusqu'à la frontière des rayonnements non essentiels ou au point où il est égal à la limite des rayonnements non essentiels donnée dans l'Appendice 3 du RR, la valeur de l'affaiblissement la plus faible étant celle retenue. L'affaiblissement des rayonnements non essentiels pour les services spatiaux est de  $43 + 10 \log P$  ou 60 dBc dans une largeur de bande de référence de 4 kHz, la valeur de l'affaiblissement la plus faible étant celle retenue, ou de façon équivalente,  $19 + 10 \log P$  ou 36 dBc dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, la valeur de l'affaiblissement la plus faible étant celle retenue.

FIGURE 52



### 13.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Dans les cas où l'application du numéro 1.153 du RR améliore la compatibilité, on devrait tenir compte du numéro suivant:

«**1.153** *largeur de bande occupée*: Largeur de la bande de fréquences telle que, au-dessous de sa fréquence limite inférieure et au-dessus de sa fréquence limite supérieure, soient émises des puissances moyennes égales chacune à un pourcentage donné  $\beta/2$  de la puissance moyenne totale d'une émission donnée.

En l'absence de spécifications dans une Recommandation de l'UIT-R pour la *classe d'émission* considérée, la valeur  $\beta/2$  doit être prise égale à 0,5%.»

Si le bord inférieur de la largeur de bande occupée était à ou au-dessous de la limite inférieure de l'attribution au service de radiolocalisation, la puissance totale des rayonnements non désirés aux fréquences au-dessus de la largeur de bande attribuée ne serait pas supérieure à 0,5% de  $P$ , où  $P$  est la puissance dans la bande. La puissance totale des rayonnements non désirés aux fréquences dans la bande 50,2-50,4 GHz attribuée au SETS ne serait donc pas supérieure à  $P - 23$  dB.

### 13.4.3 Valeurs obtenues

#### 13.4.3.1 SFS/SMS

L'application de la Recommandation UIT-R SM.1541 aux systèmes du SFS/SMS utilisant une largeur de bande nécessaire conduit à une puissance surfacique intégrée sur la totalité de la bande attribuée au service de radioastronomie de 108,5 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)). L'application du numéro 1.153 du RR conduit à une puissance surfacique totale de -123 dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)). Cela signifie que les critères de protection pour les observations du continuum ne seront pas respectés.

La puissance surfacique intégrée sur 20 kHz en bordure de la bande attribuée au service de radioastronomie, est égale à -130 dB(W/(m<sup>2</sup> · 20 kHz)), c'est-à-dire environ 30 dB au-dessus du critère de protection VLBI.

### 13.4.3.2 SRS

Sur la base de la limite de puissance surfacique donnée à l'Article 21 du RR ( $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ ), dans l'hypothèse d'une largeur de bande nécessaire de 18 MHz et en appliquant le gabarit décrit au § 13.4.1.2, pour un système SRS fonctionnant au-dessous de 2 670 MHz, la puissance surfacique maximale tombant dans une largeur de bande de référence de 10 MHz est égale à  $-121 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ , c'est-à-dire environ 56 dB au-dessus du critère donné pour les observations du continuum. L'application du numéro 1.153 du RR conduit à une puissance surfacique de  $-123,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ kHz))}$ . Cela signifie que les critères de protection pour les observations du continuum ne seront pas respectés.

La puissance surfacique rayonnée par un système SRS fonctionnant au-dessous de 2 670 MHz et intégrée sur 20 kHz, en bordure de la bande attribuée au service de radioastronomie, est égale à  $-146 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ kHz))}$ , ce qui est environ 15 dB au-dessus du critère de protection VLBI.

## 13.5 Techniques de réduction des brouillages

### 13.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* L'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour G/T, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal sur bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un certain accroissement correspondant des niveaux de lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respecte le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

*Bande de garde:* Une bande de garde est une technique assurant une séparation en fréquence adéquate entre les services actifs et les services passifs. En général, elle va chevaucher équitablement la frontière entre les bandes de fréquences des services actifs et des services passifs.

*Isolement géographique:* L'isolement géographique de sites spécifiques de radioastronomie peut être un facteur qui favorise la protection des observations sur ces sites, en fonction de la position orbitale de tel ou tel satellite du SRS/SFS, car il y aura relativement peu de satellites.

### 13.5.2 SFS/SRS

Ce service suppose l'émission continue de signaux en permanence ou pendant de longues périodes de temps, avec puissance et un spectre constant. Les méthodes de réduction des brouillages possibles sont destinées à éviter d'émettre des rayonnements non désirés dans la direction des stations de radioastronomie qui utilisent cette bande, ou à utiliser des filtres pour supprimer de façon appropriée les rayonnements non désirés et les ramener à un niveau où les observations de radioastronomie dans la bande 2 690-2 700 MHz ne subissent pas de brouillage gênant.

### 13.5.3 Impact potentiel

#### 13.5.3.1 Service de radioastronomie

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* Les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant des stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie au rayonnement du sol, et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence:* La suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration total requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

*Bande de garde:* Dans le cas de mesures à large bande du continuum, l'utilisation d'une bande de garde conduirait effectivement à une perte de capacité de canal, dans la mesure où le temps d'intégration devrait être augmenté pour compenser la perte de largeur de bande.

*Isolement géographique:* au cas par cas, il est vraisemblable qu'il y aura peu d'incidence sur les sites de radioastronomie concernés. Toutefois, l'isolement géographique assure la protection de la radioastronomie en tant que service.

#### 13.5.3.2 SFS/SRS

L'utilisation de filtres est un moyen évident de supprimer les rayonnements non désirés, mais l'ajout de tels filtres peut avoir des conséquences importantes sur la conception du satellite. Si on utilise une antenne-réseau active à commande de phase, on aura peut-être besoin de filtres pour chaque élément d'antenne activé, ce qui va accroître le poids du satellite. Pour compenser l'affaiblissement du filtre, il faudra des émetteurs plus puissants, ce qui à son tour exigera plus de puissance de transport, et ainsi de plus grandes antennes-réseaux à énergie solaire. Cet accroissement de poids pourrait être suffisant pour exiger de plus gros lanceurs. L'impact sur les coûts pourrait être considérable. Par conséquent, la mise en œuvre de filtres ne peut être prise en considération qu'au stade de la conception d'un système. Cependant, les améliorations techniques continues de la conception des filtres et des antennes actives peuvent à l'avenir ramener la complexité de la mise en œuvre de telles solutions à des proportions acceptables.

Etant donné qu'il est prévu d'exploiter certains systèmes à satellites multifaisceaux dans la gamme de fréquences concernée, les incidences au niveau des coûts et du poids liées à l'adjonction de filtres RF supplémentaires sont multipliées par le nombre de faisceaux dans les systèmes multifaisceaux, ou le nombre d'éléments dans le système d'antenne-réseau à commande de phase. Cela tient au fait que, dans un système multifaisceaux, les amplificateurs de sortie ne sont généralement pas partagés entre les faisceaux, et devront donc être filtrés séparément. Dans un système du type antenne-réseau à commande de phase, l'étape finale de l'amplification intervient sur les divers éléments du réseau, chacun d'entre eux devant être filtré séparément. De cette façon, l'incidence au niveau du poids d'un filtre individuel est multipliée par le nombre de faisceaux du système, ou par le nombre d'éléments de l'antenne-réseau à commande de phase. L'affaiblissement dû à l'insertion de filtres pourrait avoir une influence sur la capacité du système.

L'isolement géographique nécessiterait une décroissance du diagramme d'antenne du satellite pour parvenir à l'isolement requis et respecter un critère de partage convenu, sur un site particulier de réception de radioastronomie. Cette technique suppose implicitement qu'un système du SFS n'aura pas une zone de couverture mondiale ou même régionale, ce qui est en soi une hypothèse restrictive. De nombreux systèmes ont des faisceaux régionaux ou sous-régionaux pour lesquels l'isolation géographique n'est pas réalisable. D'autres systèmes à faisceaux ponctuels pourront peut-être utiliser

l'isolement géographique mais ce n'est pas une solution très séduisante du point de vue du système à satellites car certaines zones de la Terre risqueraient de ne pas pouvoir être desservies par satellite. De telles limitations de la zone de service du SFS pourraient avoir des conséquences graves en termes de recettes. Cependant, cette solution a le mérite de tenir compte des besoins réels de protection de certains sites de radioastronomie, sans qu'il soit nécessaire d'appliquer les critères les plus défavorables sur chaque site de radioastronomie.

## **13.6 Résultats des études**

### **13.6.1 Résumé**

Le calcul de brouillage effectué montre que, sur la base des critères de protection examinés au § 13.1.3, si aucune technique de réduction des brouillages n'est mise en œuvre, les observations de radioastronomie dans la bande de 2 690-2 700 MHz risquent de subir des brouillages gênants causés par les services fonctionnant dans la bande adjacente, à un niveau qui concrètement empêcherait la réalisation de toute mesure de radioastronomie utile dans cette bande.

Les opérateurs de satellites continueront à travailler étroitement avec la communauté des radioastronomes pour minimiser l'impact des émissions hors bande des satellites. Dans de nombreux cas, le filtrage normal du répéteur suffira pour garantir qu'il n'y aura pas de conséquences néfastes sur les bandes attribuées à la radioastronomie. Lorsque ce n'est pas le cas, les conséquences d'un filtrage supplémentaire du satellite seront examinées conjointement avec d'autres techniques de réduction des brouillages telles que l'isolement géographique et l'isolement de la station de radioastronomie au sol. Cela peut se faire au cas par cas en fonction de l'emplacement du site de radioastronomie et de la position orbitale.

### **13.6.2 Conclusions**

Les critères de protection ne sont pas respectés pour les observations du continuum avec une seule antenne parabolique et les observations de raies spectrales, ou bien encore pour les observations VLBI.

## **14 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz et les systèmes du service fixe par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 10,7-10,95 GHz**

### **14.1 Service de radioastronomie**

#### **14.1.1 Bande attribuée**

La bande 10,6-10,7 GHz est attribuée à titre primaire aux services de radioastronomie, d'exploration de la Terre par satellite (passive) et de recherche spatiale (passive); la sous-bande 10,68-10,7 GHz est attribuée en exclusivité à ces services, dans le monde entier.

Les renvois suivants concernent ces bandes: numéro 5.149 du RR pour la bande 10,6-10,68 GHz et numéro 5.340 du RR pour la bande 10,68-10,7 GHz.

#### **14.1.2 Type d'observations**

##### **14.1.2.1 Observations avec une seule antenne parabolique**

La bande est utilisée en radioastronomie notamment pour l'observation de sources synchrotron non thermiques qui ne sont détectables qu'à cette gamme de fréquences. Ces observations donnent des informations aux très hautes fréquences auxquelles ces sources peuvent être facilement détectées, et cela permet de déterminer certains de leurs paramètres physiques. La bande des 10,6 GHz est aussi

extrêmement importante pour la surveillance de la variabilité de l'intensité des radiogalaxies, y compris les quasars. On a constaté que ces objets, dont on pense qu'ils sont les objets célestes les plus éloignés que puissent détecter les astronomes, varient en intensité selon des périodes allant de quelques heures à quelques années, et produisent des quantités d'énergie étonnamment grandes. L'énergie émise durant une quelconque explosion de quasar pourrait détruire complètement plusieurs centaines de millions d'étoiles en l'espace de quelques semaines ou de quelques mois. Les lois physiques fondamentales qui régissent de tels phénomènes ne sont pas encore pleinement comprises et les observations de la taille et de la variabilité de ces sources sont essentielles pour résoudre ces énigmes. Pour faire de telles observations, la meilleure gamme de fréquences est la gamme 10-15 GHz.

La variabilité des quasars est très marquée à ces fréquences, et leur observation facilite la découverte et la surveillance de tels phénomènes, dont les lois physiques sont jusqu'à présent si mal comprises des astronomes. Les observations nous amènent à estimer la taille de ces sources, qui se révèlent très petites par rapport à la quantité d'énergie qu'elles produisent. La bande des 10,6 GHz offre une des meilleures résolutions angulaires ( $\sim 2$  minutes d'arc) pour de nombreux grands radiotélescopes à antenne parabolique unique.

#### 14.1.2.2 Observations VLBI

Les observations d'interférométrie à très grande ligne de base (VLBI) permettent de découvrir les tailles extrêmement petites des quasars (de l'ordre de la milliseconde d'arc). De telles observations sont aussi effectuées dans la bande 10,6-10,7 GHz, bien qu'à l'heure actuelle la bande des 8,4 GHz soit la plus fréquemment utilisée. La gamme 8-10 GHz offre une meilleure résolution angulaire que les observations faites à des fréquences plus basses et permet aux scientifiques de déterminer plus précisément la taille et la structure à petite échelle des radiogalaxies.

#### 14.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 10,6-10,7 GHz, pour les observations du continuum avec une seule antenne parabolique utilisant la totalité de la largeur de bande de 100 MHz, la limite de puissance surfacique est de  $-160$  dB(W/m<sup>2</sup>). Cette bande n'est utilisée que pour les observations du continuum et pas pour les observations de raies radioélectriques.

Les observations VLBI, où des signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qui atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-145$  dB(W/m<sup>2</sup>) pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 50 kHz.

S'agissant des brouillages gênants provenant de systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes du SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes du SMS et du SRNS.

Les niveaux seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut compenser en accroissant le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne

permettra alors plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont alors valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et elle ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

#### **14.1.4 Caractéristiques de fonctionnement**

Les observations dans la bande 10,6-10,7 GHz sont effectuées sur un certain nombre de sites de radioastronomie dans le monde entier; elles sont faites à l'aide de radiotélescopes à antenne unique et en réseau.

En général, les observations sont faites de façon différentielle. Dans le cas d'émissions du continuum, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond soustrait, ou bien on fait des mesures de la puissance venant de la direction de la source (de source) et à une ou plusieurs positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs source, les émissions provenant de la source sont dissociées des autres contributions à la sortie du récepteur.

On peut cartographier de larges zones de rayonnements radioélectriques en enregistrant l'émission à partir d'une grille de points couvrant la région considérée. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation d'un point de la grille donne une indication de la puissance totale rayonnée par cette position dans le ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à la moitié de l'ouverture du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être espacés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, la puissance des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur une bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite transmises à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## **14.2 Service fixe par satellite**

### **14.2.1 Bande d'émission attribuée**

La bande attribuée au service actif considérée est la bande 10,7-10,95 GHz.

### **14.2.2 Application**

La bande 10,7-10,95 GHz est attribuée à titre primaire au service fixe par satellite. Cette attribution est régie par l'Appendice 30B du RR, qui utilise un plan d'allotissement et garantit une capacité à tous les Etats Membres. Etant donné que le principe du premier arrivé, premier servi, s'applique dans les bandes non planifiées, la création du plan de l'Appendice 30B du RR a permis aux pays en développement de préserver leur accès à l'arc OSG pour l'avenir. Toute contrainte – bandes de garde ou filtrage – imposée au SFS aurait un impact sur les allotissements du plan de l'Appendice 30B du RR.

### **14.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

Les niveaux des rayonnements non désirés dans la bande 10,6-10,7 GHz provenant du SFS sont fondés sur les limites réglementaires de puissance surfacique dans la bande. On convertit la puissance dans la bande en puissance hors bande en utilisant les niveaux des rayonnements non essentiels donnés dans l'Appendice 3 du RR et les niveaux d'émission hors bande figurant dans la

Recommandation UIT-R SM.1541. Le niveau de  $-154 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  est le niveau des rayonnements non désirés qui seraient reçus dans la bande de 10,6 à 10,7 GHz sur la base des niveaux réglementaires. Un niveau de  $-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  a été fourni, fondé sur l'expérience pratique.

#### 14.2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les systèmes OSG du SFS fonctionnant dans cette bande sont régis par l'Appendice 30B du RR. Les systèmes non OSG du SFS fonctionnant dans cette bande sont régis par l'Article 22 du RR.

#### 14.2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Afin d'effectuer le partage avec le service fixe de Terre, la limite de puissance surfacique dans la bande tirée du Tableau 21-4 du RR pour le SFS se situe entre  $-116$  à  $-126 \text{ dB(W/(m}^2/\text{MHz))}$ , ce qui représente une gamme de  $-176$  à  $-186 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  au-dessus du plan horizontal.

### 14.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 14.1.3.

### 14.4 Evaluation du brouillage

#### 14.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Sur la base de l'expérience qu'ils ont acquise sur certains sites de radioastronomie et avec certains systèmes à satellites exploités dans ces bandes, les radioastronomes et les opérateurs de satellites ont fourni des informations sur les niveaux de rayonnements non désirés auxquels on peut s'attendre dans la bande 10,6-10,7 GHz.

#### 14.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Les calculs effectués sont fondés sur des informations fournies au § 14.4.3, comme indiqué au § 14.4.1.

#### 14.4.3 Valeurs obtenues

##### 14.4.3.1 Exemple européen pour les systèmes à satellites OSG

En Europe, le service de radioastronomie subit dans la bande de fréquences 10,6-10,7 GHz des brouillages préjudiciables importants imputables aux émissions hors bande d'un système du service fixe par satellite. Plus précisément, ces brouillages préjudiciables ont en fait neutralisé toute observation dans cette bande à l'observatoire d'Effelsberg (Allemagne). Le problème a été signalé à l'Administration allemande, qui a confirmé les brouillages constatés lors des observations réalisées à sa station de surveillance des satellites de Leeheim et, forte de cette preuve, en a fait part à l'exploitant.

Par exemple, un cas concret de brouillage subi par le service de radioastronomie est décrit ci-dessous, avec un satellite OSG du SFS particulier fonctionnant à une fréquence centrale nominale inférieure de 10,714 MHz pour une largeur de bande de répéteur de 26 MHz.

La Fig. 53 montre les résultats des mesures de radioastronomie effectuées à 10,6 GHz par le radiotélescope d'Effelsberg, dont l'antenne de 100 m de diamètre pointe en direction du point 3C84, une des plus fortes radiosources cosmiques ponctuelles. Ces mesures ont été faites avant 1995. La taille du champ est  $30' \times 12'$ , le flux provenant de la source est de  $20,5 \text{ Jy}$  ( $\sim -247 \text{ dB(W/(m}^{-2}/\text{Hz}^{-1}))$ ).

FIGURE 53

Carte de l'objet galactique «3C84» dans la bande 10,6-10,7 GHz  
avec le radiotélescope\* ayant une antenne de 100 m de diamètre d'Effelsberg



\* La source 3C84 a un diamètre angulaire beaucoup plus petit que l'ouverture de faisceau de l'antenne, et donc l'image ci-dessus montre le profil du faisceau de l'antenne, y compris les lobes latéraux. Dans la mesure où la carte a été faite pour mesurer la brillance de la source et non sa structure, cela ne pose pas de problème.

Rap 2091-53

Puis en 1995, un satellite OSG du SFS a été mis en service sur une position orbitale donnée, alors que d'autres satellites y fonctionnaient déjà depuis un certain temps. Ce satellite a une fréquence centrale inférieure d'émission de 10,714 GHz et une largeur de bande de répéteur de 26 MHz. La fluctuation du bruit résultante générée par les rayonnements non désirés produits par le SFS depuis cette position orbitale dans la bande adjacente 10,6-10,7 GHz attribuée au service de radioastronomie a été tellement forte qu'elle a complètement masqué tous les signaux astronomiques.

La Fig. 54 illustre la carte qui en résulte dans le même champ de 30' x 12' du ciel que celui montré par la Fig. 53, mais après que le satellite a été mis en service en 1995, sa position orbitale étant espacée de 10 degrés du champ cartographié dans le ciel. Par comparaison, l'image de 3C84 (Fig. 53) a été ajoutée sur la carte de la Fig. 54. Le très fort point source n'est plus visible par rapport au flux causé par les émissions du satellite.

FIGURE 54

Carte du même champ céleste que sur la Fig. 53, mais avec le brouillage subi par le radiotélescope d'Effelsberg



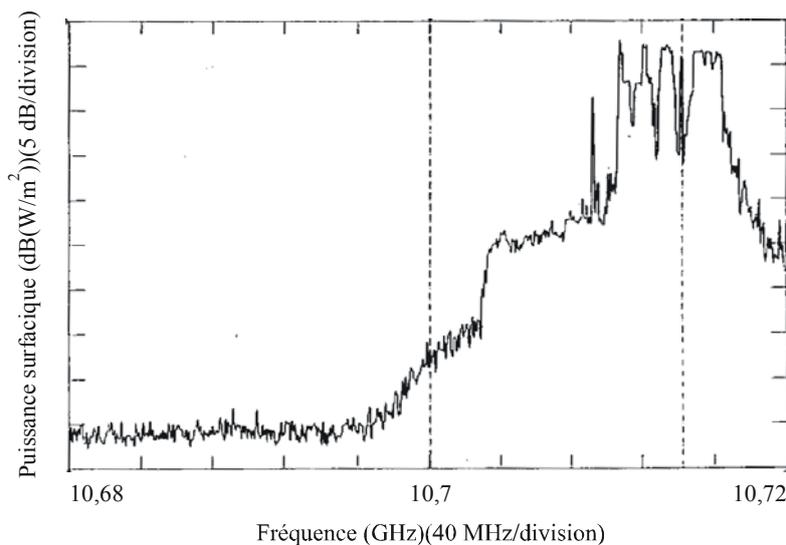
Rap 2091-54

Pour étudier ce cas de brouillage, la station de surveillance des satellites de l'Autorité réglementaire allemande, située à Leeheim, a mesuré un spectre des émissions du SFS depuis la position orbitale donnée du satellite (voir la Fig. 55), afin de déterminer le niveau des rayonnements non désirés dans la bande du service de radioastronomie. On notera toutefois que la sensibilité et la dynamique de la station de contrôle ne sont pas suffisantes pour vérifier les brouillages aux niveaux donnés comme critères de protection pour le service de radioastronomie dans la Recommandation UIT-R RA.769.

NOTE – Dans la Fig. 54, l'objet galactique n'est plus visible en raison du brouillage subi.

FIGURE 55

Mesure de la source de brouillage effectuée à la station de surveillance de Leeheim (1995)



Rap 2091-55

Il ressort de la Fig. 55 qu'au bord à 10,7 GHz de la bande attribuée au service de radioastronomie, dans la bande passive exclusive, le niveau des rayonnements non désirés mesuré est de  $-151 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande de référence de 100 kHz, ce qui correspond à

$-201 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ), tandis que la Recommandation UIT-R RA.769 donne comme seuil de brouillage un chiffre inférieur de 39 dB, à savoir  $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ . De plus, on estime qu'il serait souhaitable qu'une limite plus contraignante de 15 dB soit appliquée dans le cas des satellites OSG. Cet écart considérable est observé au bord supérieur de la bande 10,6-10,7 GHz, et il est plus faible dans le reste de la bande.

Depuis 10,7 GHz, si on descend jusqu'à environ 10,69 GHz, où le signal brouilleur atteint le bruit plancher de la station de surveillance de Leeheim (puissance surfacique d'environ  $-160 \text{ dB(W/m}^2)$ ), sa décroissance est d'environ 10 dB pour 4 MHz. Dans l'hypothèse où ce taux de décroissance continue jusqu'à 10,6 GHz, la puissance totale émise estimée depuis cette position orbitale dans la bande 10,6-10,7 GHz serait de  $-145,6 \text{ dB(W/m}^2)$ , soit 14,4 dB au-dessus du seuil de  $-160 \text{ dB(W/m}^2)$  donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour la bande 10,6-10,7 GHz. Par conséquent, la totalité de la bande 10,6-10,7 GHz est inutilisable pour les observations de radioastronomie, comme l'indique la Fig. 54.

Bien que l'exploitant du système à satellites ait quelque peu amélioré le système et que des filtres aient été installés au radiotélescope d'Effelsberg, il n'a pas encore été possible de trouver de solution concrète à ce problème.

Les valeurs suivantes ont été fournies pour les niveaux des rayonnements non désirés de systèmes SFS types tombant dans la bande du service de radioastronomie. Deux exploitants ont déterminé que toute limite inférieure aux niveaux du Tableau 39 imposerait des contraintes insupportables aux systèmes du SFS fonctionnant actuellement dans la bande 10,7-10,95 GHz.

TABLEAU 39

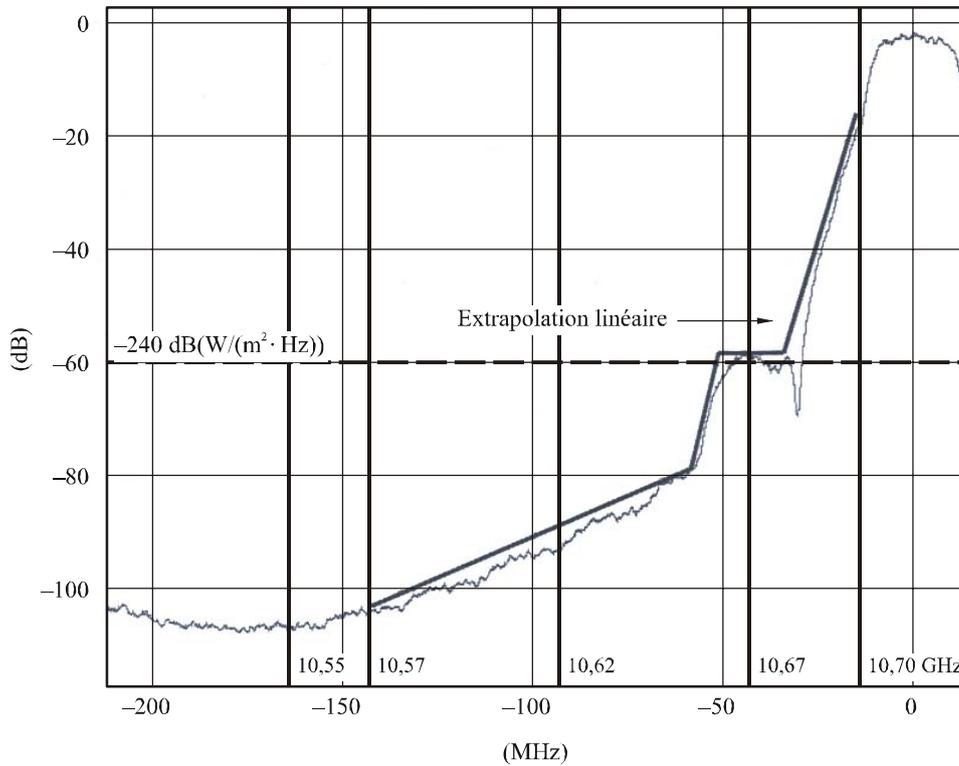
**Niveaux de rayonnements non désirés tombant dans la bande de fréquences 10,57-10,7 GHz en des points spécifiques**

Frontière (GHz)	Niveau de densité spectrale de puissance des rayonnements non désirés ( $\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ )
10,570	-285
10,656	-256
10,662	-237
10,680	-237
10,700	-195

La Fig. 56 montre les niveaux de densité spectrale de puissance d'une modulation numérique avec un débit de symboles de  $22 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ , une décroissance de 35% et une largeur de bande de répéteur de 26 MHz fonctionnant à 10 714 MHz. Pour des raisons pratiques, la décroissance réelle de la puissance a été extrapolée par une décroissance linéaire de la puissance afin d'estimer la puissance tombant dans la totalité des 100 MHz attribués à la radioastronomie, en fonction du décalage de fréquence.

Du fait de la nature même de la modulation numérique, la largeur de bande nécessaire est très proche de la largeur de bande du répéteur. Les niveaux de densité spectrale de puissance tombant dans la partie supérieure de la bande de fréquences attribuée au service de radioastronomie sont beaucoup plus élevés que ceux observés pour une modulation analogique (voir la Fig. 57).

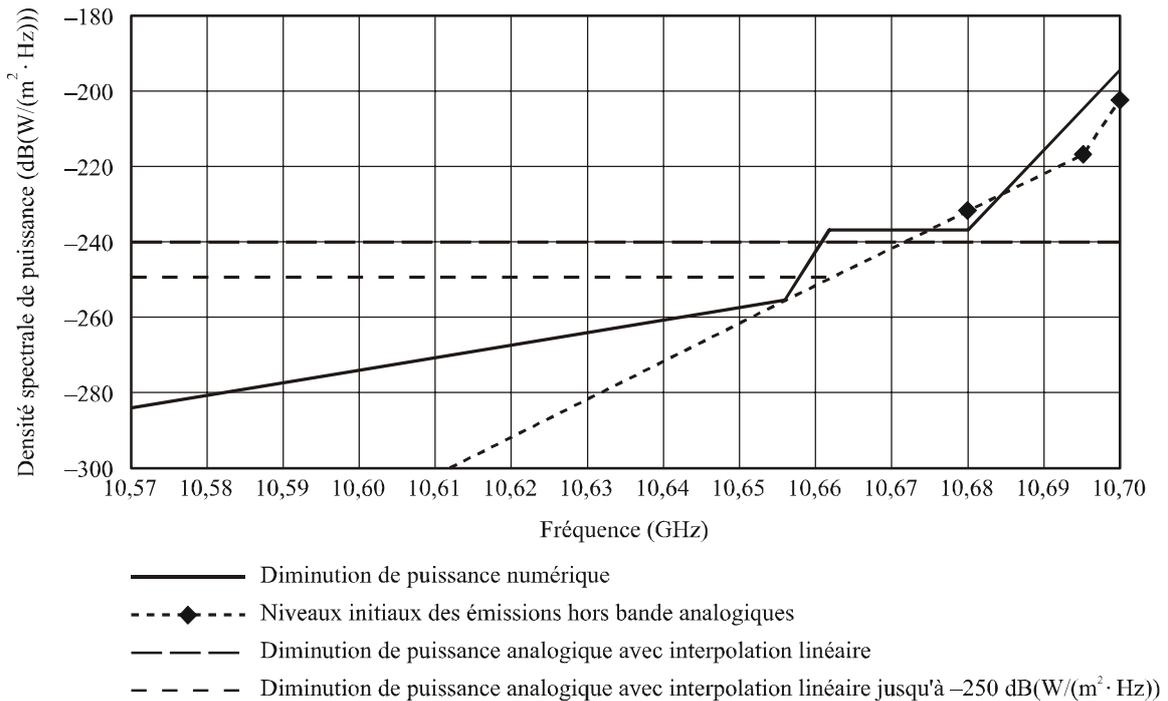
FIGURE 56  
**Gabarit des émissions hors bande numérique**



Débit de symboles:  $22 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ , décroissance de 35%

Rap 2091-56

FIGURE 57  
**Comparaison des niveaux de densité spectrale de puissance selon le type de modulation**

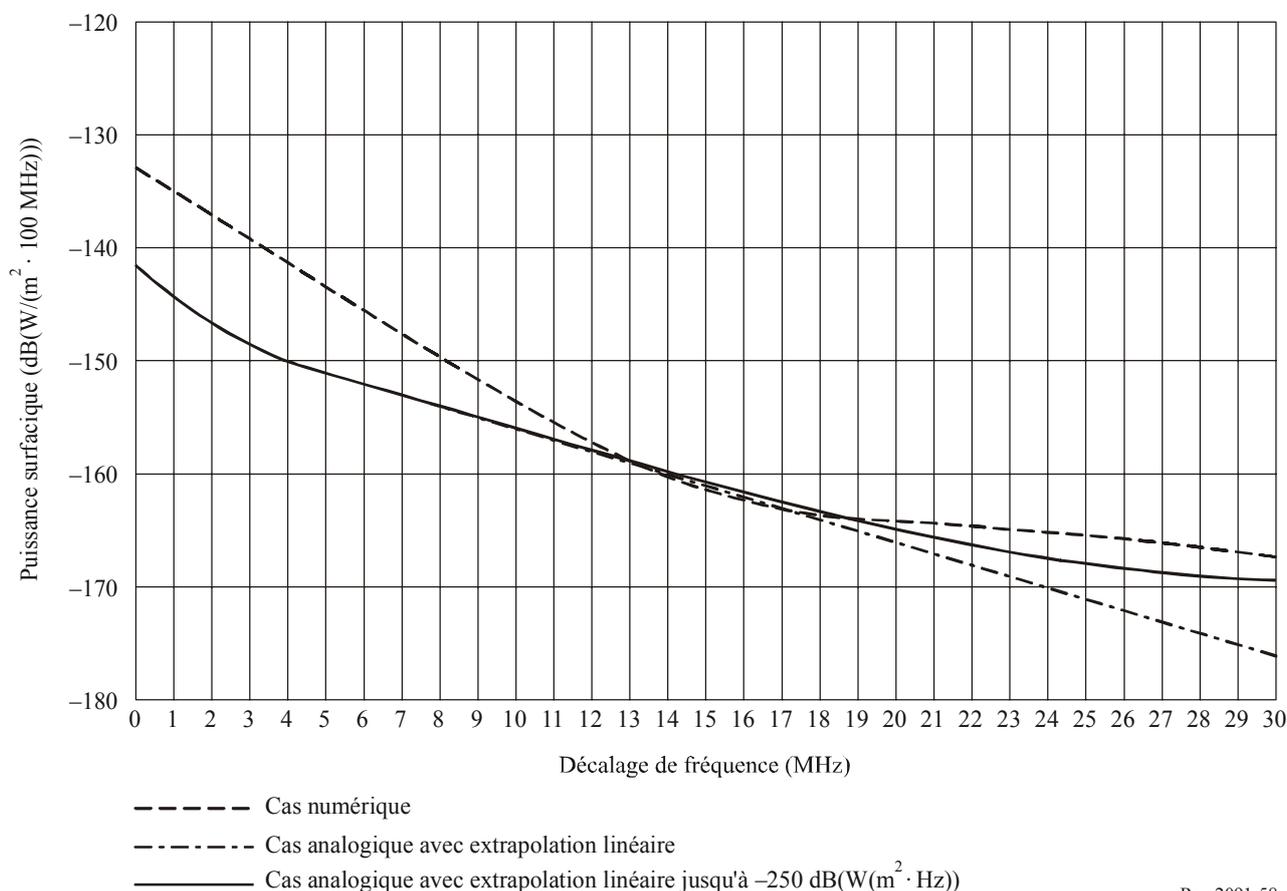


Rap 2091-57

D'après la Fig. 57, il est possible de calculer la puissance tombant dans une largeur de bande de référence de 100 MHz selon la fréquence où commence l'intégration (voir la Fig. 58).

FIGURE 58

**Puissance surfacique intégrée sur une largeur de bande de 100 MHz  
selon le type de modulation**



Rap 2091-58

Sur la Fig. 58, un décalage de fréquence de 0 MHz signifie que l'intégration sur 100 MHz commence à 10,7 GHz (et donc se termine à 10,6 GHz); de même, un décalage de fréquence de 30 MHz signifie que l'intégration sur 100 MHz commence à 10,67 GHz (et donc se termine à 10,57 GHz).

D'après la Fig. 58, avec les hypothèses formulées sur la décroissance du signal, le niveau seuil pour des observations du continuum, c'est-à-dire  $-160 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ , devrait être respecté si on prévoit une bande de garde d'au moins 15 MHz entre les deux services. Avec une hypothèse différente sur la décroissance du signal, il faudrait peut-être prévoir une bande de garde plus grande.

Donc, pour parvenir à une conclusion sur un espacement en fréquence susceptible d'assurer la compatibilité entre les deux services, il faudrait valider les hypothèses sur la décroissance du signal.

#### 14.4.3.2 Exemple de la Région 2 pour les systèmes à satellites OSG

En novembre 1993, l'Observatoire national américain de radioastronomie (NRAO) a effectué une étude de la ceinture géostationnaire entre  $152^\circ \text{ O}$  et  $7^\circ \text{ O}$  dans la bande 10,68-10,7 GHz, en utilisant son télescope de 43 mètres de Green Bank, Ouest Virginie (désaffecté depuis), pour déterminer les niveaux des rayonnements susceptibles d'être présents. Il a été établi qu'il n'y avait pas dans cette portion du ciel de rayonnements au moins jusqu'au niveau de  $-250 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

Dans la Région 2, un cas concerne deux satellites OSG identiques fonctionnant dans la bande 10,75-10,95 GHz, et utilisant cette bande conformément à l'Appendice 30B du RR pour fournir des liaisons de connexion pour une application du SMS. Dans un autre cas, un exploitant a fourni des données sur la qualité de fonctionnement attendue de sa station spatiale dans la bande 10,6-10,7 GHz.

Dans le cas des deux satellites OSG identiques mentionnés ci-dessus, des filtres spéciaux assurant un affaiblissement d'un peu plus de 40 dB dans la bande 10,6-10,7 GHz ont été installés, moyennant un coût important pour les exploitants, afin de répondre aux préoccupations des différents pays concernant la protection des services passifs. Il y a deux sources indépendantes dans la bande 10,68-10,7 GHz:

- le bruit thermique rayonné généré dans un amplificateur à tube à ondes progressives (ATOP). La valeur de p.i.r.e. de bruit thermique mesurée la plus défavorable était de  $-27$  dB(W/4 kHz) à la crête du diagramme d'antenne dans la bande 10,68-10,7 GHz, résultant en une densité spectrale de puissance de  $-226,2$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)), après soustraction d'un affaiblissement d'étalement de  $-163,2$  dB(W/m<sup>2</sup>);
- les produits d'intermodulation (IM) dans les porteuses dues aux non-linéarités de l'amplificateur ATOP. La bande 10,75-10,95 GHz de liaison descendante est subdivisée en 27 sous-bandes, chacune d'elles acheminant un nombre variable de porteuses radioélectriques. En cas de charge maximale, approximativement 600 porteuses seront activées simultanément et réparties dans les sous-bandes. Pour estimer le niveau des produits d'intermodulation tombant dans la bande attribuée à la radioastronomie, on a réalisé une simulation du cas le plus défavorable dans laquelle les sous-bandes étaient remplies d'un bruit gaussien pour simuler la présence de nombreuses porteuses, et l'amplificateur ATOP a fonctionné à un niveau de charge maximal. La simulation utilisée a permis de mesurer les caractéristiques de transfert d'entrée-sortie de l'amplificateur ATOP et a donné un niveau de crête de densité spectrale de puissance des produits d'intermodulation (comprenant tous les ordres de produits d'intermodulation) dans la bande 10,69-10,70 GHz de  $-223,0$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)). La valeur moyenne la plus défavorable de densité spectrale de puissance surfacique d'intermodulation sur cette bande est de  $-231$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)). Les valeurs pour le reste de la bande de radioastronomie sont inférieures d'environ 5 dB (c'est-à-dire une crête de  $-228,0$  et une moyenne de  $-236,0$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)).

Les produits d'intermodulation sont générés par des centaines de porteuses radioélectriques indépendantes modulées par des flux binaires aléatoires indépendants. Chaque modulateur applique une séquence maximale de 24 bits de bruit pseudo aléatoire au sommet du flux d'informations, assurant une corrélation croisée minimale entre les porteuses. Il y a des milliers de produits indépendants différents présents dans toute la bande attribuée à la radioastronomie. Les porteuses radioélectriques elles-mêmes ne sont activées qu'en présence de signaux vocaux, ce qui ajoute encore au caractère aléatoire du signal d'intermodulation composite. Il apparaît donc que les produits d'intermodulation se comporteront tout à fait comme un bruit gaussien large bande.

Les porteuses radioélectriques sont assignées à la demande, en fonction des besoins; sinon, elles sont désactivées. Il en résulte que les conditions les plus défavorables s'observeront pendant les heures ouvrables d'un jour de travail normal, c'est-à-dire normalement douze heures par jour. La nuit, les week-ends et pendant les vacances, la charge de pointe sera beaucoup moins importante. Du fait de cette diminution de charge, l'amplificateur ATOP fonctionne dans une région plus linéaire ce qui réduit le niveau d'intermodulation. Une diminution du nombre de porteuses radioélectriques réduit aussi le nombre de produits d'intermodulation. Pendant ces périodes creuses,

la densité spectrale de puissance des produits d'intermodulation est réduite d'au moins 40 dB, ou se situe aux environs de  $-260 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

*Estimation du brouillage total:* le bruit du tube et le bruit d'intermodulation combinés suivent une distribution gaussienne large bande. La valeur de densité spectrale de puissance moyenne la plus défavorable dans la bande 10,6-10,69 GHz est, selon les estimations, de  $-225,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , et atteint  $-221,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  à 10,7 GHz. Pendant les périodes de charge de trafic peu importante, la densité spectrale de puissance moyenne sur la totalité de la bande est, selon les estimations, de  $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### 14.4.3.2.1 Simulation informatique

Une étude fondée sur une simulation informatique a montré que la mise en service d'un allotissement quelconque de l'Appendice 30B du RR causerait un brouillage supérieur au niveau seuil de puissance surfacique du continuum (voir liste au § 14.1.3) pour tous les radiotélescopes en visibilité directe de la station spatiale. Cette étude a mis en évidence que la plus grosse partie de la puissance des rayonnements non désirés tombant dans la bande 10,6-10,7 GHz s'observe au bord de la bande. Il convient de souligner que l'utilisation de la Recommandation UIT-R SM.1541 pour établir le niveau des émissions hors bande conduit à surestimer le niveau des rayonnements non désirés, car cela représente une intégration sur un gabarit de cas le plus défavorable. Des études supplémentaires sont nécessaires avec un gabarit représentant les caractéristiques types des rayonnements non désirés.

#### 14.4.3.3 Systèmes à satellites non géostationnaires

Jusqu'à présent, aucun système non OSG ne fonctionne dans la bande 10,7-10,95 GHz, mais il est prévu de commencer à en exploiter plusieurs dans un proche avenir. Des calculs préliminaires ont été effectués pour un de ces systèmes (F-SATMULTI1 B), en utilisant la méthode de la densité spectrale de puissance (voir les Recommandations UIT-R RA.1513 et UIT-R S.1586). Ces calculs montrent qu'en utilisant les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769, il faudrait des valeurs de filtrage comprises entre 30 dB et 40 dB pour protéger le service de radioastronomie dans la bande des 10,7 GHz contre les rayonnements non essentiels de ce système jusqu'au niveau de  $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  dans une largeur de bande de 100 MHz. Ce résultat cadre bien avec le premier exemple de système OSG décrit plus haut.

### 14.5 Techniques de réduction des brouillages

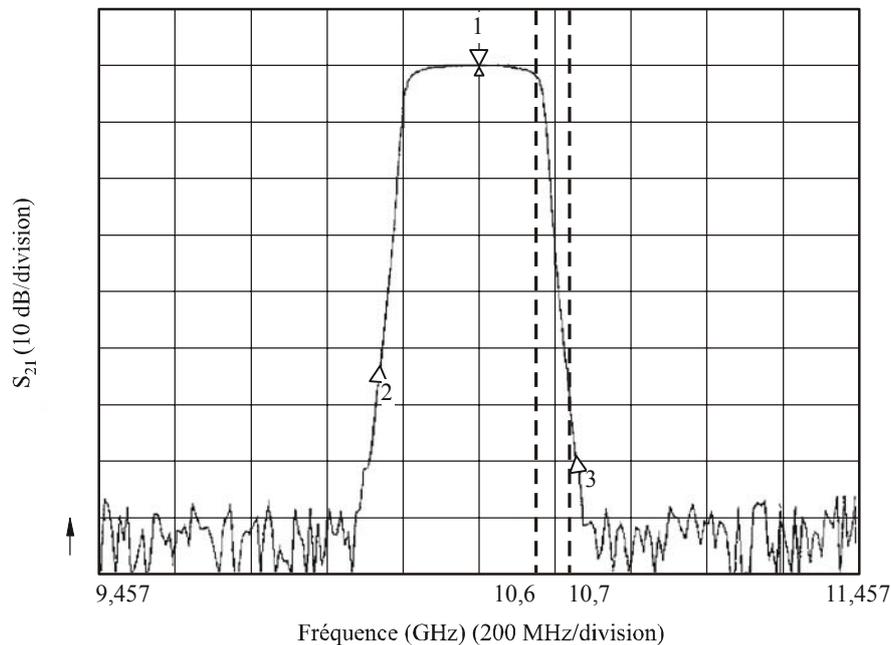
#### 14.5.1 Service de radioastronomie

Pour pouvoir poursuivre les observations de radioastronomie dans la situation de brouillage décrite au § 14.4.3.1, on a installé un filtre à l'extrémité avant du récepteur du radiotélescope. Les spécifications de ce filtre ont été conçues de façon à diminuer l'émission principale provenant de la source du brouillage de 70 dB, tout en laissant une bande passante suffisante avec un affaiblissement d'insertion minimal.

Les amplificateurs fondés sur des transistors à effet de champ pourraient être recalés sur une fréquence légèrement inférieure sans perte de gain ou augmentation du facteur de bruit et on pourrait trouver un bon filtre disponible sur le marché. La Fig. 59 montre la fonction de transfert du filtre, telle que fournie par le fabricant.

FIGURE 59

Courbe d'affaiblissement du filtre coupe-bande mis en œuvre dans le radiotélescope mentionné au § 14.4.3.1



Rap 2091-59

Le marqueur 3 de la Fig. 59 est réglé sur la fréquence centrale nominale de l'émission brouilleuse du satellite, c'est-à-dire 10,714 GHz. On notera que l'attribution au service de radioastronomie de la bande 10,6-10,7 GHz est marquée par des lignes en tirets.

Il convient de noter que le filtre décrit ci-dessus, qui a été conçu pour protéger le récepteur de radioastronomie, offre un affaiblissement d'insertion minimal à une séparation de fréquence d'environ 200 MHz de la fréquence centrale d'un signal supprimé. Avec les progrès de la technologique des filtres, on obtiendra peut-être de meilleurs chiffres, mais les instruments actuellement disponibles nécessitent un décalage de fréquence d'au moins 100 MHz.

Il convient aussi de noter que des observations de radioastronomie utilisables pourraient être effectuées à Effelsberg dans une bande de fréquences autour de 10,5 GHz, qui est attribuée au service fixe de Terre, et dans laquelle des brouillages ne sont signalés qu'occasionnellement. Ceci ne s'appliquera peut-être pas dans d'autres pays en raison de l'utilisation particulière qu'ils font du service fixe dans cette bande.

### 14.5.2 Service actif

Un certain nombre de méthodes de réduction des brouillages possibles peuvent être mises en œuvre pour minimiser les conséquences pour le service passif. Elles sont énumérées dans la Recommandation UIT-R SM.1542. On trouvera ci-après certaines mesures spécifiques qui ont été appliquées pour protéger les services passifs fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz:

- Une administration a constaté que, même si les limites de brouillage données dans la Recommandation UIT-R RA.769 ont permis de protéger le fonctionnement du service de radioastronomie contre le brouillage, on aurait une marge de manœuvre plus grande si l'on exigeait des fournisseurs du SFS non OSG qu'ils se coordonnent et parviennent à un accord mutuellement acceptable avec les installations de radioastronomie qui utilisent la bande 10,6-10,7 GHz, garantissant que ces installations seront bien protégées contre les

brouillages. A cet effet, un renvoi a été ajouté au Tableau national d'attribution des bandes de fréquences pertinent. Le texte est le suivant:

«Dans la bande 10,7-11,7 GHz, les titulaires de licences pour l'exploitation de systèmes non OSG dans le service fixe par satellite (espace vers Terre) doivent, avant de commencer l'exploitation de leurs systèmes, se coordonner avec les observatoires de radioastronomie suivants pour conclure un accord mutuellement acceptable concernant la protection des installations du radiotélescope fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz.»

NOTE 1 – A cet endroit du renvoi figure un Tableau des sites de radioastronomie.

- Dans une contribution, on envisage la possibilité de prévoir une bande de garde entre la bande du SFS et celle du service de radioastronomie (voir les considérations sur ce problème au § 14.4.3.1). Les résultats des études bande par bande permettent de conclure que la seule option est de chercher à mettre en place une bande de garde entre le SFS et le service de radioastronomie. Cependant, la répartition de la charge de la bande de garde entre les services doit être étudiée.

Il faut garder présent à l'esprit que le fait d'imposer une bande de garde au SFS aurait des conséquences sur le Plan de l'Appendice 30B du RR. De même, l'imposition d'une bande de garde au service de radioastronomie aurait pour résultat une augmentation des temps de mesure, réduisant ainsi l'utilisation des stations de radioastronomie.

De même, un élargissement de l'attribution au service de la radioastronomie au-dessous de 10,6 GHz, ce qui permettrait au service de radioastronomie de fonctionner correctement dans une largeur de bande de 100 MHz, aurait des conséquences sur les services fonctionnant au-dessous de 10,6 GHz.

### 14.5.3 Impact potentiel

#### 14.5.3.1 Service de radioastronomie

Du point de vue de la radioastronomie, il est techniquement impossible de filtrer les brouillages dont il est question au § 14.4.3.1. Même un système du SRS/SFS bien conçu amènerait les observatoires de radioastronomie à insérer des filtres aux extrémités avant des récepteurs. Celles qui sont utilisées aujourd'hui dans les observatoires de radioastronomie contiennent habituellement des amplificateurs HEMT refroidis (transistors à forte mobilité électronique, *high electron mobility transistors*), qui sont large bande par nature. La bande passante de l'amplificateur de premier étage déborde lentement de la largeur de bande nominale. Les émetteurs de satellite en particulier, qui se rapprochent suffisamment près de la direction d'observation, risquent de causer des non-linéarités dans le récepteur; le filtrage sera donc nécessaire avant le premier étage d'amplification de l'extrémité avant du récepteur. Dans la conception des récepteurs de radioastronomie, on essaie toujours d'éviter l'affaiblissement de transmission, ce qui élève la température de bruit du récepteur. Cet affaiblissement se produira lorsque la bande de garde prévue pour protéger les observations de radioastronomie est insuffisante, et aussi parce qu'aux fréquences considérées, la technologie des filtres n'est pas suffisamment développée.

#### 14.5.3.2 Service fixe par satellite

On peut utiliser des filtres pour supprimer les rayonnements non désirés, mais la conception du satellite s'en trouve sensiblement modifiée:

- L'affaiblissement d'insertion introduit par le filtre peut provoquer une perte de capacité. Pour compenser cette perte, il faut augmenter la taille de l'amplificateur à forte puissance, avec des conséquences pour la conception de la station spatiale (coût, poids, puissance, fiabilité).

- L'insertion d'un filtre a une influence sur la réponse de phase du signal dans la bande. Si les niveaux de tolérance de phase du récepteur sont dépassés, la qualité de fonctionnement de la liaison en sera affectée même si la puissance fournie au récepteur est suffisante.
- L'adjonction d'un filtre rend la conception de la station spatiale et du programme d'essai plus complexe.

De plus, si on utilise une antenne-réseau active à commande de phase, des filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne.

Pour les systèmes à satellites multifaisceaux que l'on prévoit d'exploiter dans la gamme de fréquences considérée, le nombre de faisceaux ou le nombre d'éléments dans une antenne-réseau à commande de phase multiplie les conséquences en termes de coût et de poids liés à l'installation de filtres radiofréquence supplémentaires. Ceci est dû au fait que dans un système multifaisceaux, les amplificateurs de sortie ne sont généralement pas partagés entre les faisceaux, et devront donc être équipés d'un filtre individuel. Dans une antenne-réseau à commande de phase, le dernier étage d'amplification a lieu dans les divers éléments du réseau, et chacun d'eux devra être équipé d'un filtre individuel. Ainsi, le nombre de faisceaux accentue l'impact en termes de poids de chaque filtre dans le système, ou du nombre d'éléments dans une antenne-réseau à commande de phase. L'affaiblissement d'insertion du filtre pourra avoir une incidence sur la capacité du système.

L'isolement géographique supposerait l'utilisation d'une décroissance rapide du diagramme d'antenne du satellite pour garantir que l'isolement requis respecte un critère de partage convenu sur un site particulier de récepteur de radioastronomie. Cette technique suppose implicitement qu'un système SFS n'aura pas une zone de couverture mondiale, ou même régionale, ce qui en soi est une hypothèse restrictive. De nombreux systèmes à 10-14 GHz ont des faisceaux régionaux ou sous-régionaux pour lesquels l'isolement géographique n'est pas réalisable. D'autres systèmes à faisceaux ponctuels peuvent utiliser l'isolement géographique; cependant, pour les systèmes à satellites, ce n'est pas une solution séduisante car certaines zones de la Terre ne seraient pas desservies par satellite. De telles limitations des zones du SFS pourraient avoir des conséquences sérieuses en termes de recettes. Cependant, cette solution a l'avantage de tenir compte des besoins de protection réels de certains sites de radioastronomie, sans avoir à appliquer le critère le plus défavorable à chacun de ces sites.

## 14.6 Résultats des études

### 14.6.1 Résumé

Dans la Région 2, les procédés de conception et les méthodes de réduction des brouillages actuellement disponibles ont permis de protéger le service de radioastronomie dans la bande 10,6-10,7 GHz contre les brouillages du nombre limité de stations spatiales SFS déployées actuellement. Dans les cas où l'application du Plan de l'Appendice 30B du RR peut avoir gêné les observations de radioastronomie, les pressions exercées par d'autres pays ont amené à corriger la situation. Cependant, le déploiement demain de stations spatiales qui ne chercheraient pas systématiquement à protéger les radiotélescopes pourrait nuire à leur fonctionnement.

Dans la Région 1, la juxtaposition des bandes attribuées à la radioastronomie et au service fixe par satellite ou au service de radiodiffusion par satellite, en vue de leur utilisation pour la transmission de signaux dans le sens espace vers Terre, a donné lieu à une situation de brouillage complexe dans certains pays, qui ne peut se résoudre que par la mise en place d'une bande de garde entre les deux services. Dans cette bande, les critères de protection énumérés au § 14.1.3 sont respectés par le service actif dans le cas d'observations VLBI, mais pas dans le cas d'observations du continuum avec une seule antenne parabolique. Des méthodes de réduction des brouillages ont été utilisées dans la Région 2 pour respecter le niveau dans le cas d'observations du continuum avec une seule antenne parabolique. Cependant, des cas de brouillage gênant persistent dans la Région 1.

Aucune donnée n'a été reçue et aucune étude n'a été faite pour la Région 3.

### 14.6.2 Conclusions

Dans la Région 1, les critères de protection sont respectés pour les observations VLBI, mais pas pour les observations du continuum ou de raies spectrales avec une seule antenne parabolique. Dans la Région 2, les critères de protection sont respectés pour les observations VLBI.

## 15 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 22,21-22,5 GHz et les systèmes du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 21,4-22 GHz

### 15.1 Service de radioastronomie

#### 15.1.1 Bande attribuée

La bande 22,21-22,5 GHz est attribuée à titre primaire au service de radioastronomie.

Le numéro 5.149 du RR dispose que, dans cette bande, «En assignant des fréquences aux stations des autres services, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables».

#### 15.1.2 Type d'observations

La bande de fréquences est utilisée par le service de radioastronomie à la fois pour les observations du continuum et pour les observations de raies spectroscopiques de la molécule d'eau, dont la bande spectroscopique dans cette gamme de fréquences est une des plus importantes pour la radioastronomie (voir la Recommandation UIT-R RA.314, Tableau 40, et la Liste de raies spectrales importantes de l'Union astronomique internationale).

Les transitions de la molécule d'eau dans cette bande sont observées avec une seule antenne parabolique ou en mode VLBI.

#### 15.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne des niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie.

Pour la bande 22,21-22,5 GHz, le seuil de puissance surfacique donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour les observations de raies avec une seule antenne parabolique en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 250 kHz est de  $-162 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Une limite seuil de puissance surfacique de  $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  est définie pour les observations du continuum avec une antenne parabolique dans cette bande, en utilisant la totalité de la largeur de bande de 290 MHz.

Les observations VLBI, où les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages, ce qu'atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-128 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 250 kHz.

S'agissant des brouillages gênants provenant de systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513,

ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes du SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes du SMS et du SRNS.

Les seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, accroître le temps d'observation mais alors, la capacité en canaux du télescope est réduite, et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et elle ne pourra assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée n'est mise en œuvre.

#### 15.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande 22,21-22,5 GHz sont effectuées sur un grand nombre de sites de radioastronomie dans de nombreux pays, dans le monde entier. Il peut s'agir d'observations des émissions du continuum, de raies spectrales, ou VLBI. Les observations dans cette bande sont parfois effectuées sur des cibles d'opportunité, par exemple sur des objets tels que des comètes. Des observations de raies spectrales en mode VLBI sont aussi fréquemment effectuées dans cette bande.

Les observations de raies spectrales sont faites en utilisant des spectromètres multicanaux qui peuvent intégrer simultanément la puissance de nombreux (habituellement de 256 à 4 096) canaux de fréquences répartis dans la bande. Le nombre de canaux et la largeur de bande de chaque canal sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre des émissions nettes rayonnées par les différentes sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle. Dans le cas d'émissions du continuum, la zone du ciel contenant la source peut être cartographiée et le rayonnement de fond peut être soustrait, ou bien on peut faire des mesures de la puissance venant de la direction de la source (à la source) et à une ou plusieurs des positions voisines dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs à la source, les rayonnements provenant de la source sont dissociés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés aux gammes de fréquences où se produisent les rayonnements de raies intéressantes (spectres de raie), puis à une fréquence décalée par rapport à celle des rayonnements des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raie, les contributions de bruit non désirées et les autres éléments parasites peuvent être supprimés des données.

On cartographie des zones étendues d'émissions radioélectriques en enregistrant ces émissions à partir d'une grille de points couvrant la région concernée. On peut faire aussi bien des observations du continuum que des observations de raies spectrales. Dans le cas de radiotélescopes à antenne parabolique, chaque observation d'un point de la grille donne une indication de la puissance totale (observations du continuum) ou du spectre d'émission (observations de raies spectrales) venant de cette position du ciel; l'espacement entre les points de la grille ne devrait pas être supérieur à la moitié de l'ouverture à mi-puissance du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope à synthèse d'ouverture, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être espacés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Pour les observations VLBI, la fréquence des signaux est ramenée à celle d'une bande de base; les signaux sont numérisés sans redressement, et enregistrés sur une bande magnétique ou d'autres supports avec un marquage temporel précis. Les données sont ensuite envoyées à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, il se peut que l'incidence des brouillages ne soit pleinement connue qu'une fois la période d'observation terminée et les données traitées.

## **15.2 Service de radiodiffusion par satellite**

### **15.2.1 Bande d'émission attribuée**

La bande de fréquences attribuée au service actif est la bande 21,4-22 GHz.

### **15.2.2 Service**

La CAMR-92 a réattribué la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 au SRS (TVHD: télévision numérique à haute définition) avec effet après le 1er avril 2007. Cette bande a été identifiée pour l'élaboration d'un futur plan d'allotissement.

### **15.2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires**

Annexe de la Résolution 525 (Rév.CMR-03) (Section III): Procédure intérimaire relative aux systèmes opérationnels du SRS (TVHD) mis en œuvre avant le 1er avril 2007.

Afin que les systèmes opérationnels du SRS (TVHD) puissent être mis en œuvre dans la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 avant le 1er avril 2007, la procédure figurant dans la Résolution 33 (Rév.CMR-03) doit être appliquée si la puissance surfacique produite par les émissions d'une station spatiale à la surface de la Terre sur le territoire de tout autre pays dépasse:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 0 et 5 degrés au-dessus du plan horizontal; ou
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  dans une largeur de bande de 1 MHz pour les angles d'arrivée compris entre 25 et 90 degrés au-dessus du plan horizontal; ou
- des valeurs calculées par interpolation linéaire entre ces limites pour les angles d'arrivée compris entre 5 et 25 degrés au-dessus du plan horizontal.

Annexe de la Résolution 525 (Rév.CMR-03) (Section IV): Procédure intérimaire relative aux systèmes du SRS (TVHD) mis en œuvre après le 1er avril 2007.

Afin que les systèmes du SRS (TVHD) puissent être mis en œuvre et exploités dans la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3, après le 1er avril 2007, et avant qu'une future conférence ait pris des décisions sur les procédures définitives, toutes les dispositions pertinentes des Articles 9 à 14, à l'exception du numéro 9.11 seront applicables.

### **15.2.4 Caractéristiques de l'émetteur**

On fait les hypothèses suivantes:

- le gain d'antenne du système SRS est le même dans la bande du SRS et dans la bande du service radioastronomie;
- les niveaux maximaux de densité spectrale de puissance/puissance surfacique sont utilisés pour les rayonnements non désirés provenant des systèmes du SRS tombant dans la bande de la radioastronomie;
- une nouvelle croissance du signal à modulation numérique en raison de la non-linéarité du répéteur;

- le bruit du tube à ondes progressives tombant dans la bande de radioastronomie;
- les caractéristiques améliorées des filtres OMUX.

### 15.2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Le présent paragraphe ne traite que le cas des systèmes OSG. Le cas des systèmes non OSG sera étudié ultérieurement.

### 15.2.6 Niveau d'émission dans la bande

Voir le § 15.2.3.

### 15.3 Seuil de compatibilité

Voir le § 15.1.3

### 15.4 Evaluation du brouillage

#### 15.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Voir le § 15.2.4.

#### 15.4.2 Calcul du niveau de brouillage

Les niveaux maximaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du SRS considérés qui fonctionnent dans la bande 21,4-22 GHz et tombant dans la bande 22,21-22,5 GHz de la radioastronomie sont donnés dans le Tableau 40.

TABLEAU 40

#### Niveaux maximaux des rayonnements non désirés des systèmes SRS

Bande (GHz)	Niveau maximal de densité spectrale de puissance des rayonnements non désirés à bande étroite (dB(W/(m <sup>2</sup> · Hz)))	Niveau maximal de puissance surfacique des rayonnements non désirés à large bande (dB(W/(m <sup>2</sup> · 290 MHz)))
22,21-22,5	-221	-146

#### 15.4.3 Valeurs obtenues

Une comparaison entre, d'une part les niveaux seuils de puissance surfacique à respecter pour protéger le service de radioastronomie dans la bande 22,21-22,5 GHz, tels qu'ils sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 (voir le § 15.1.3) et, d'autre part les niveaux des rayonnements non désirés produits par les systèmes du SRS donnés dans le Tableau 40 du § 15.4.2 aboutit aux résultats donnés dans le Tableau 41.

TABLEAU 41

**Différence entre les niveaux seuils de puissance surfacique applicable au service de radioastronomie donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 et les niveaux des rayonnements non désirés du SRS**

Type d'observation	Observations du continuum	Observations de raies spectrales	Observations VLBI
Différence entre les niveaux seuils de puissance surfacique applicable au service de radioastronomie, donnés dans la Rec. UIT-R RA.769 et les niveaux des rayonnements non désirés du SRS (dB)	0	+5	+37

Il ressort de ces calculs que pour les observations du continuum avec une antenne parabolique et les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique, les niveaux seuils de la Recommandation UIT-R RA.769 sont respectés.

## 15.5 Méthodes de réduction des brouillages

### 15.5.1 Service de radioastronomie

On peut utiliser diverses méthodes, y compris celles qui sont décrites ci-dessous, pour réduire les rayonnements non désirés causés par les émetteurs de satellite à un radiotélescope.

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* l'éclairement lumineux d'ouverture des radiotélescopes est habituellement optimisé pour G/T, c'est-à-dire le gain du télescope divisé par la température du système, cela afin de maximiser le rapport signal/bruit pour les points sources. Un élément clé de cette approche est de réduire le rayonnement du sol entrant par les lobes latéraux distants. Cela conduit inévitablement à un certain accroissement correspondant des niveaux des lobes latéraux proches. L'expérience a montré que la majorité des radiotélescopes respectent le gabarit d'enveloppe des lobes latéraux donné dans la Recommandation UIT-R SA.509, dans la plupart des directions.

*Suppression de faisceau en temps et/ou en fréquence:* cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage dans la bande de fréquences attribuée à la radioastronomie peut être identifié pleinement et sans ambiguïté en temps et/ou en fréquence.

### 15.5.2 Service de radiodiffusion par satellite

*Filtres:* ceci supposerait que le système actif mette en œuvre un filtrage RF supplémentaire.

### 15.5.3 Impact potentiel

#### 15.5.3.1 Service de radioastronomie

*Performances des lobes latéraux de l'antenne:* les tentatives de diminution de la sensibilité des antennes de radioastronomie aux rayonnements non désirés provenant des stations spatiales vont vraisemblablement accroître la sensibilité des télescopes de radioastronomie au rayonnement du sol, et pourraient réduire leur gain de faisceau principal. Ces deux effets réduiront la capacité en canaux du télescope et conduiront à une augmentation du temps d'intégration total nécessaire.

*Suppression de faisceau en temps et/ou en fréquence*: la suppression comporte le risque de compromettre l'intégrité des données et peut conduire à des erreurs de leur interprétation scientifique. Elle est également à l'origine d'un accroissement concomitant du temps d'intégration total requis pour faire l'observation, ce qui est équivalent à une perte de la capacité en canaux du télescope.

### **15.5.3.2 Service de radiodiffusion par satellite**

Pour les systèmes à satellites multifaisceaux qu'il est prévu d'exploiter dans les gammes de fréquences qui nous intéressent, le nombre de faisceaux, ou le nombre d'éléments multiplie les conséquences en termes de coût et de poids, liées à l'installation de filtres RF supplémentaires dans le système d'antenne-réseau à commande de phase. Ceci est dû au fait que, dans un système multifaisceaux, les amplificateurs de sortie ne sont généralement pas partagés entre les faisceaux, et doivent donc être équipés d'un filtre individuel. Dans une antenne-réseau à commande de phase, l'étage final d'amplification a lieu dans les divers éléments du réseau, dont chacun devra être équipé d'un filtre individuel. De cette façon, le nombre de faisceaux ou le nombre d'éléments de l'antenne-réseau à commande de phase accentue les conséquences en termes de poids liées à l'adjonction d'un filtre individuel dans le système. L'affaiblissement d'insertion du filtre pourrait avoir une influence sur la capacité du système.

## **15.6 Résultats des études**

Les calculs montrent que les critères de protection examinés au § 15.1.3 sont respectés pour tous les types d'observations (VLBI, continuum avec une seule antenne parabolique et raies spectrales).

## **16 Analyse de compatibilité entre les systèmes du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz et les systèmes du service fixe par satellite et du service de radiodiffusion par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 41,5-42,5 GHz**

### **16.1 Service de radioastronomie**

#### **16.1.1 Bande attribuée**

Le service de radioastronomie partage la bande 42,5-43,5 GHz avec les services fixe, fixe par satellite (Terre vers espace) et mobile par satellite (sauf mobile aéronautique) à titre primaire.

#### **16.1.2 Type d'observations**

La bande 42,5-43,5 GHz est utilisée par le service de radioastronomie à la fois pour les observations du continuum et les observations de raies spectrales. Cette bande est très importante pour la radioastronomie, parce que, à pratiquement deux fois la fréquence de la bande 23,6-24,0 GHz du continuum, elle offre un bon point d'échantillonnage des émissions du continuum à des intervalles d'une octave, ce qui est essentiel pour la détermination de l'indice spectral des radiosources. Les observations des émissions du continuum donnent des informations cruciales sur l'état physique du milieu interstellaire associé aux régions de formation des étoiles. La bande des 43 GHz est aussi beaucoup utilisée pour les études du fond diffus cosmologique (CMB, *cosmic microwave background*). La bande inclut aussi les raies spectrales associées à la molécule de monoxyde de silicium (SiO) aux fréquences de repos de 42,519, 42,821, 43,122 et 43,424 GHz qui sont parmi les raies les plus importantes en astrophysique, mais qui ne figurent pas toutes dans la Recommandation UIT-R RA.314.

Ce sont des raies essentielles pour l'étude des phénomènes cosmiques comme la naissance et la mort des étoiles.

### 16.1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations de radioastronomie et donne les niveaux seuils de brouillage gênant pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 42,5-43,5 GHz, pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 500 kHz, le seuil de puissance surfacique pour un brouillage gênant est de  $-153 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ . Pour faire des observations du continuum avec une seule antenne parabolique en utilisant la totalité de la largeur de bande de 1 GHz, le seuil de puissance surfacique est de  $-137 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ .

Les observations VLBI, où les signaux provenant d'antennes largement espacées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage, ce qu'atteste le niveau seuil de puissance surfacique de  $-116 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ , pour les observations VLBI dans cette bande, pour une largeur de bande de 500 kHz.

S'agissant des brouillages gênants provenant de systèmes non OSG, les critères de protection et les méthodes pertinentes sont décrits dans les Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513, ainsi que dans la Recommandation UIT-R S.1586 pour les systèmes du SFS. Les niveaux seuils de brouillage gênant pour le service de radioastronomie, tels que définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont les critères de protection au-dessus desquels les données de radioastronomie sont dégradées et peuvent finir par être totalement détruites. En principe, dans des conditions idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut, pour compenser, augmenter le temps d'observation mais alors la capacité en canaux du télescope est réduite et le volume de données scientifiques recueillies est moins important. Si le niveau de brouillage, compte tenu des hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), est de 10 dB ou plus supérieur au niveau donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra plus de garantir que les données scientifiques recueillies par les chercheurs sont des données valables. La station de radioastronomie ne pourra plus fonctionner dans la bande de fréquences assignée et ne pourra plus assurer le service si aucune technique de réduction des brouillages appropriée ne peut être mise en œuvre.

Les Recommandations suivantes de l'UIT-R traitent directement de la protection des stations de radioastronomie faisant des observations dans la bande 42,5-43,5 GHz, ou s'y rapportent:

- Recommandation UIT-R RA.314: Bandes de fréquences préférées pour les mesures en radioastronomie
- Recommandation UIT-R RA.517: Protection du service de radioastronomie contre les émetteurs fonctionnant dans les bandes adjacentes
- Recommandation UIT-R RA.611: Protection du service de radioastronomie contre les rayonnements non essentiels
- Recommandation UIT-R RA.769: Critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie
- Recommandation UIT-R RA.1237: Protection du service de radioastronomie contre les rayonnements non désirés produits par des systèmes à modulation numérique à large bande

- Recommandation UIT-R RA.1513: Niveaux de perte de données pour les observations de radioastronomie et critères de pourcentage de temps découlant des dégradations générées par les brouillages, dans le cas des bandes de fréquences attribuées à titre primaire au service de radioastronomie
- Recommandation UIT-R S.1586: Calcul des niveaux de rayonnements non désirés produits par un système à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite au niveau des sites de radioastronomie.

Les numéros 5.149, 5.547, 5.551AA et 5.551G du RR s'appliquent à cette bande.

#### 16.1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations de radioastronomie dans la bande 42,5-43,5 GHz sont effectuées dans toutes les régions de l'UIT. Le Tableau 42 donne une liste des observatoires de radioastronomie qui fonctionnent ou que l'on prévoit d'exploiter dans la bande 42,5-43,5 GHz. Les installations prévues sont celles qui sont en construction au Mexique (Grand télescope millimétrique, projet conjoint USA-Mexique), au Chili (Grand réseau millimétrique d'Atacama) et en Italie (Télescope de Sardaigne) ou la mise en œuvre de cette bande de fréquences au réseau d'interférométrie MERLIN au Royaume-Uni.

TABLEAU 42

#### Stations de radioastronomie fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz

Région 1						
Pays	Site	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Diamètre (m)	Remarques
Finlande	Metsähovi	24° 23' 17"	60° 13' 04"	61	13,7	S
France	Bordeaux Plateau de Bure	-00° 31' 37"	44° 50' 10"	73	2,5	S
		05° 54' 26"	44° 38' 01"	2 552	6 × 15	S
Allemagne	Effelsberg	06° 53' 00"	50° 31' 32"	369	100	S
Italie	Medicina Noto Cagliari	11° 38' 43"	44° 31' 14"	44	32	S
		15° 03' 00"	36° 31' 48"	85 570	32	S
		09° 14' 40"	39° 29' 50"		64	S
Fédération de Russie	Dmitrov	37° 27' 00"	56° 26' 00"	200	32	S
Espagne	Pico Veleta Yebes	-03° 23' 34"	37° 03' 58"	2 870	30	S
		-03° 06' 00"	40° 31' 30"	931	40	S
Suède	Onsala	11° 55' 35"	57° 23' 45"	10	20	S
Royaume-Uni  (en projet)	Cambridge	00° 02' 20"	52° 09' 59"	24	32	S
	Darnhall	-02° 32' 03"	53° 09' 21"	47	47	S
	Jodrell Bank	-02° 18' 26"	53° 14' 10"	78	76	S
	Knockin	-02° 59' 45"	52° 47' 24"	66	25	S
	Pickmere	-02° 26' 38"	53° 17' 18"	35	25	S

TABLEAU 42 (fin)

<b>Région 2</b>						
<b>Pays</b>	<b>Site</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Diamètre (m)</b>	<b>Remarques</b>
Brésil	Atibaia, SP	-46° 33' 28"	-23° 11' 05"	805	13,7	S
Chili	San Pedro de Atacama	-67° 44' 00"	-23° 02' 00"	5 000	64 × 12	S
Mexique	Sierra Negra	-97° 18' 00"	18° 59' 00"	4 500	50	S
Etats-Unis d'Amérique	Goldstone, CA	-116° 47' 40"	35° 14' 50"	[]	34	S
	Green Bank, WV	-79° 50' 24"	38° 25' 59"	1 071	100	S
	Socorro, NM	-107° 37' 06"	34° 04' 44"	946	27 × 25	S
	St. Croix, VI	-64° 35' 01"	17° 45' 24"	16	25	VLBI
	Hancock, NH	-71° 59' 12"	42° 56' 01"	309	25	VLBI
	North Liberty, IA	-91° 34' 27"	41° 46' 17"	241	25	VLBI
	Ft. Davis, TX	-103° 56' 41"	30° 38' 06"	1 615	25	VLBI
	Los Alamos, NM	-106° 14' 44"	35° 46' 31"	1 967	25	VLBI
	Pie Town, NM	-108° 07' 09"	34° 18' 04"	2 371	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 45"	31° 57' 23"	1 916	25	VLBI
	Owens Valley, CA	-118° 16' 37"	37° 13' 54"	1 207	25	VLBI
	Brewster, WA	-119° 41' 00"	48° 07' 52"	255	25	VLBI
	Mauna Kea, HI	-155° 27' 19"	19° 48' 05"	3 720	25	VLBI
	Kitt Peak, AZ	-111° 36' 50"	31° 57' 10"	1 916	12	S
Mauna Kea, HI	-155° 28' 20"	19° 49' 33"	3 720	10,4	S	
Westford, MA	-71° 29' 19"	42° 37' 23"	[122]	36	S	
<b>Région 3</b>						
Australie	Parkes	148° 15' 44"	-33° 00' 00"	415	64	S
	Mopra	149° 05' 58"	-31° 16' 04"	866	22	S
	Narrabri, NSW	149° 32' 56"	-30° 59' 52"	237	6 × 22	S
	Tidbinbilla	148° 58' 59"	-35° 24' 18"	677	34	S
Japon	Nobeyama	138° 28' 32"	35° 56' 29"	1 350	45	S
	Kashima	140° 39' 46"	35° 57' 15"	50	34	S
	Mizusa	141° 07' 57"	39° 08' 01"	117	20	S
	Ogasawara	130° 26' 25"	31° 44' 53"	569	20	S
	Ishigakijima	142° 13' 00"	27° 05' 30"	273	20	S
Corée	Taejon	127° 22' 18"	36° 23' 54"	120	13,7	S
	Yonsei U.	126° 56' 35"	37° 33' 44"	260	20	S
	Ulsan U.	129° 15' 04"	35° 32' 33"	120	20	S
	Tamna U.	126° 27' 43"	33° 17' 18"	100	20	S
<b>Autres</b>						
Financement Etats-Unis d'Amérique	Antarctique	N/A	- 90° 00' 00"	3 000	Divers	S

NOTE 1 – S renvoie à des stations fonctionnant en mode monoparabole et VLBI renvoie à des stations utilisées exclusivement pour de l'interférométrie à très grande base.

Les scientifiques s'intéressent beaucoup à la bande des 43 GHz. Le plus grand intérêt est suscité par les observations de radiosources très faibles qui repoussent les limites de la technologie, correspondant à des températures de bruit d'antenne de l'ordre de 2-20  $\mu$ K, impliquant des intégrations de l'ordre de 2 000-4 000 secondes. De longs temps d'intégration sont essentiels pour observer les sources à peine visibles qui intéressent les scientifiques. Des modes d'observation par corrélation et différenciation ont été élaborés et sont utilisés avec succès pour lutter contre les fluctuations atmosphériques afin de rendre possibles d'aussi longs temps d'intégration.

Le très grand réseau (VLA, *very large array*) de l'Observatoire national de radioastronomie des Etats-Unis d'Amérique (NRAO), qui est peut-être le radiotélescope le plus utilisé au monde, a passé près de 20% de son temps total d'observation dans cette bande au cours des quelques dernières années. Des statistiques similaires sont valables pour le réseau à très grande ligne de basse (VLBA, *very long baseline array*) de la NRAO. Le VLA et le VLBA reçoivent deux ou trois fois plus de demandes de temps d'observation que ce qu'ils peuvent traiter.

Le pourcentage de temps que chaque station passe à 42 GHz varie d'une station à l'autre et d'une année à l'autre. De nombreux radiotélescopes sont agiles en fréquence ce qui leur permet de passer d'une bande de fréquences à une autre en une minute ou moins. Cela offre une certaine souplesse pour la planification des observations afin de tirer le meilleur parti des conditions d'observation (météo, etc.). Du point de vue des études de compatibilité interservices, il est plus prudent de supposer que toute station de radioastronomie énumérée dans le Tableau 42 peut faire des observations à 43 GHz à tout moment.

## 16.2 Service fixe par satellite et service de radiodiffusion par satellite

### 16.2.1 Bande d'émission attribuée

La bande attribuée au service active considérée est la bande 41,5-42,5 GHz.

### 16.2.2 Application

Sur la base des notifications à l'UIT, il est prévu d'exploiter plus de 250 systèmes du SFS et du SRS dans la bande des 40 GHz et dans la bande correspondante des 47 GHz pour les liaisons montantes. Les paramètres typiques des systèmes du SFS qu'il est prévu d'exploiter dans les bandes des 50/40 GHz sont indiqués dans le Tableau 43.

TABLEAU 43

**Caractéristiques typiques en liaison descendante des systèmes du SFS OSG  
et non OSG qu'il est prévu d'exploiter dans la bande 37,5-42,5 GHz  
(Rec. UIT-R S.1557)**

Paramètres	SFS OSG	SFS non OSG (MEO)
Taille du faisceau de l'antenne du satellite	0,3° à 0,6°	0,6° à 1,8° selon l'altitude du satellite
Puissance typique en courant continu de la station spatiale (kW)	10 à 15	3 à 5
Puissance RF typique d'émission du satellite fournie à l'antenne	2,5 kW à 3,5 kW	700 W à 1,1 kW
Nombre de faisceaux	30 à 60	10 à 20
Largeur de bande (GHz)	2,0 à 5,0 Y compris HDSFS et passerelle/pivot	

TABLEAU 43 (*fin*)

Paramètres	SFS OSG	SFS non OSG (MEO)
Schéma de réutilisation de fréquence	4 ou 7 fois (la plupart des systèmes ont un schéma de réutilisation de fréquence de 4 fois)	
Disponibilité de la liaison: Passerelle/pivot HDSFS (VSAT)	– > 99,9% – 99,5% à 99,7%	
Charge utile	Répéteur transparent ou charge utile de traitement	
Angle d'élévation de fonctionnement minimal	> 15°	> 20°
Modulation	MDP-4/MDP-8/MAQ-16	
TEB	$1 \times 10^{-8}$ à $1 \times 10^{-10}$	
Codage	Code concaténé	
$E_b/N_0$ requis (dB)	6 à 12,5 selon la modulation et le codage	
Dégradation par brouillage (dB)	2 à 4	
Marge du système (dB)	1 à 3	
Taille de l'antenne de la station terrienne – Passerelle/pivot – HDSFS (VSAT) (m)	– 1,8 à 2,7 – 0,3 à 0,6	– 1,5 à 2,7 – 0,3 à 0,6
Température de bruit de la station terrienne (k)	600 à 800	

### 16.2.3 Niveaux fondés sur des documents de l'UIT existants

Les Recommandations pertinentes de l'UIT-R sont les suivantes:

- Recommandation UIT-R S.1557: Caractéristiques et prescriptions opérationnelles relatives aux systèmes du service fixe par satellite fonctionnant dans les bandes des 50/40 GHz à utiliser pour les études de partage entre le service fixe par satellite et le service fixe.
- Recommandation UIT-R SF.1484: Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites non géostationnaires du service fixe par satellite fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz afin de protéger le service fixe.
- Recommandation UIT-R SF.1573: Valeurs maximales admissibles de la puissance surfacique produite à la surface de la Terre par des satellites géostationnaires du service fixe par satellite fonctionnant dans la bande 37,5-42,5 GHz afin de protéger le service fixe.
- Recommandation UIT-R SM.1540: Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande tombant dans les bandes attribuées adjacentes.
- Recommandation UIT-R SM.1541: Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

### 16.2.4 Caractéristiques de l'émetteur

La plupart des systèmes du SFS que l'on se propose d'exploiter dans les bandes des 50/40 GHz vont offrir des débits de données élevés: qualité visioconférence très hauts débits de transmission de STM-1 (155 Mbit/s), 10 fois les débits STM-4 (6,22 Gbit/s). Etant donné que les dégradations dues à la propagation sont très lourdes dans cette gamme de fréquences, des précautions de conception

spéciales s'appliquent à cette bande de fréquences, qui ne s'appliquent pas nécessairement à de plus basses fréquences. Pour obtenir une bonne disponibilité de la liaison et un débit de données élevé dans la bande des 40 GHz, la plupart des systèmes du SFS proposés fonctionneront avec des antennes satellite à gain élevé. L'ouverture de faisceau à 3 dB des antennes d'émission et de réception est dans la gamme comprise entre 0,3 et 0,65°. En raison du poids du satellite et des contraintes de puissance, le nombre de faisceaux actifs à tout instant dans le champ de vision des satellites de tous les systèmes du SFS proposés qu'il est prévu d'exploiter dans ces bandes, sera très faible, normalement moins de 5%. Dans l'étude considérée (Recommandation UIT-R S.1557), les systèmes du SFS et du SRS qu'il est prévu d'exploiter dans la bande des 40 GHz sont supposés avoir des paramètres de système similaires.

Le Tableau 43 indique que la plupart des systèmes du SFS proposés prévoient d'utiliser au moins 2 GHz de spectre dans le sens espace vers Terre, et la plupart des systèmes utiliseront un schéma de réutilisation des fréquences de quatre fois. Cela signifie que 500 MHz seront attribués à chaque faisceau. Cependant, certains des systèmes proposés prévoient d'utiliser 2 GHz de spectre pour chaque faisceau. La largeur de bande réelle pour chaque faisceau dépendra des applications et de l'espacement entre les faisceaux.

### **16.2.5 Caractéristiques de fonctionnement**

Voir la Recommandation UIT-R S.1557 et le § 16.2.4.

### **16.2.6 Niveau d'émission dans la bande**

Les systèmes du SFS et du SRS qu'il est prévu d'exploiter dans la bande des 40 GHz ne pourront émettre aux limites de puissance surfacique données dans le Tableau 21-4 du RR que pendant un très petit pourcentage du temps. Les niveaux réels de puissance surfacique en liaison descendante par ciel clair dépendront de la conception de chaque système à satellites, de la transparence du répéteur, de la charge utile de traitement à bord, de la modulation, du codage, etc. On a supposé dans l'étude que les systèmes du SFS fonctionneront habituellement au niveau de puissance surfacique de  $-117 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  pour les angles d'élévation compris entre 25° et 90° par ciel clair.

La valeur de  $-117 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  représente un niveau par ciel clair qui est de 12 dB inférieur au niveau de puissance surfacique de crête spécifié dans le Tableau 21-4 du RR. En raison des limitations de puissance de la station spatiale, la pleine puissance n'est atteinte que pour de très courtes périodes de temps sur des faisceaux où les effets de la propagation doivent être combattus. De plus, le niveau par ciel clair permet d'assurer la protection de certains systèmes du service fixe sensibles déployés dans la bande. D'autres détails sont donnés dans les Recommandations UIT-R S.1557 et UIT-R SF.1572.

### **16.3 Seuil de compatibilité**

Voir le § 16.1.3.

### **16.4 Evaluation du brouillage**

#### **16.4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage**

L'exemple illustré à la Fig. 60 est un exemple de cas le plus défavorable fondé sur une largeur de bande nécessaire de 500 MHz et une décroissance spectrale au niveau maximum identifié dans la Recommandation UIT-R SM.1541. Dans cet exemple, on part de l'hypothèse que la largeur de bande nécessaire s'étend jusqu'aux bords de l'attribution du SFS.

### 16.4.2 Calcul du niveau de brouillage

La courbe de performance spectrale de la Fig. 60 a été intégrée numériquement afin de calculer la puissance cumulée des rayonnements non désirés et d'évaluer l'impact dans la bande des observations du continuum à 1 GHz.

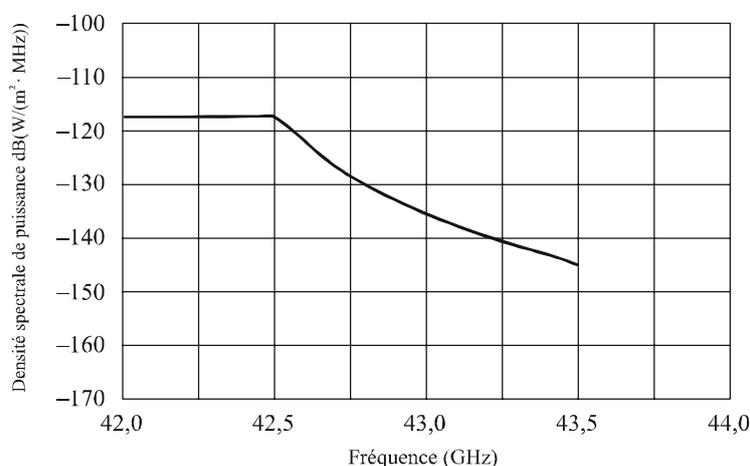
Les valeurs ont été prises directement sur la courbe (le point à 3 dB a été retiré afin de refléter le changement de largeur de bande de 1 MHz à 500 kHz) de façon à vérifier la conformité au seuil de raies spectrales à antenne unique et au seuil VLBI.

Le calcul suppose un faisceau au point à la verticale du satellite. Il en résulte que les valeurs réelles de puissance surfacique seront inférieures pour les radiotélescopes dont l'angle d'élévation vers le satellite est de moins de 90°.

Les calculs ne tiennent pas compte de l'incidence de l'affaiblissement atmosphérique<sup>4</sup>.

FIGURE 60

#### Performance spectrale



Rap 2091-60

### 16.4.3 Valeurs obtenues

Sur la base de cette courbe, les niveaux les plus défavorables suivants sont obtenus dans la bande 42,5-43,5 GHz:

- $-97 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{GHz))}$ , soit 37 dB au-dessus du seuil pour les observations du continuum dans la bande 42,5-43,5 GHz.
- $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 500 \text{ kHz))}$  à 42,5 GHz, soit 36 dB au-dessus du seuil pour les observations de raies spectrales.

Il en résulte que pour respecter les critères applicables à la radioastronomie, il faudrait appliquer une ou plusieurs méthodes de réduction des brouillages.

## 16.5 Techniques de réduction des brouillages

### 16.5.1 Service de radioastronomie

Les méthodes de réduction des brouillages possibles pour le service de radioastronomie sont:

- l'établissement d'une bande de garde; ou

<sup>4</sup> Voir la Recommandation UIT-R P.676. La valeur variera de 1 à 2 dB au niveau de la mer.

- l'application d'autres méthodes de réduction des brouillages comme indiqué dans la Recommandation UIT-R SM.1542.

## 16.5.2 Service fixe par satellite et service de radiodiffusion par satellite

### 16.5.2.1 Filtrage au niveau du satellite

#### *Cas 1: Station spatiale multifaisceaux*

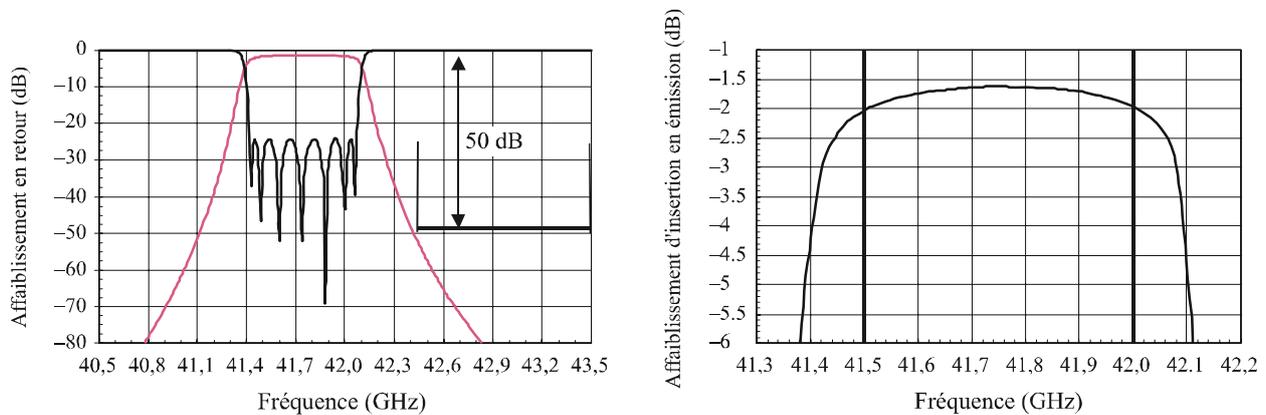
Pour les porteuses large bande, la courbe de la Fig. 61 illustre les performances d'un modèle de filtre type à 7 pôles dans cette bande.

#### *Cas 2: Station spatiale d'une antenne-réseau à commande de phase*

Pour les porteuses large bande d'une antenne-réseau à commande de phase, la Fig. 62 illustre les performances d'un modèle de filtre type à 15 pôles dans cette bande.

FIGURE 61

#### Affaiblissement en retour/affaiblissement d'insertion en émission



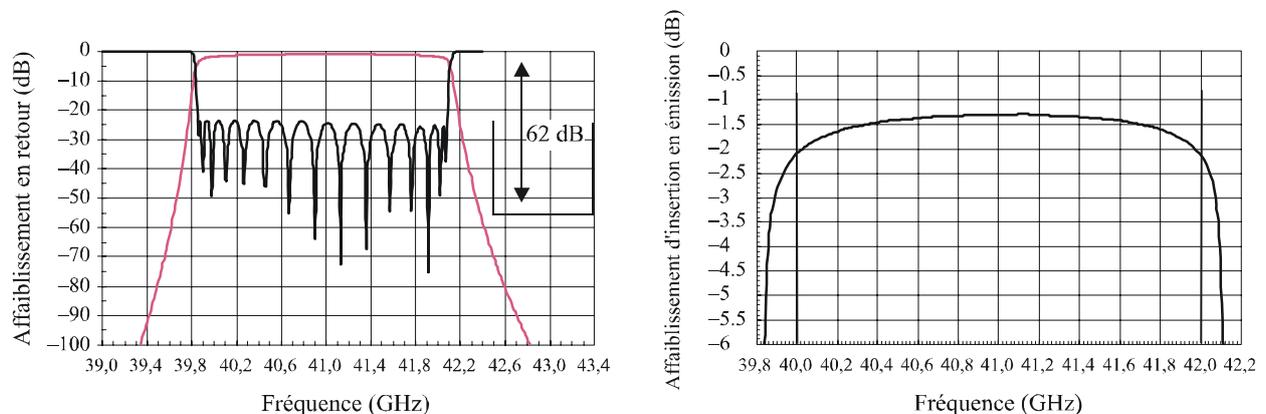
$N = 7$ , filtre TE101

Taille (W × H × L): 1,125" × 1,125" × 3,80"/Poids: 0,24 livre (cuivre)

Rap 2091-61

FIGURE 62

#### Affaiblissement en retour/affaiblissement d'insertion en émission



$N = 15$ , filtre passe-bande TE101 en cascade avec filtre passe-bas WR22/filtres WR22 à guide d'onde

Taille (W × H × L): 1,125" × 1,125" × 5,50"/Poids: 0,33 livre (en cuivre)

Rap 2091-62

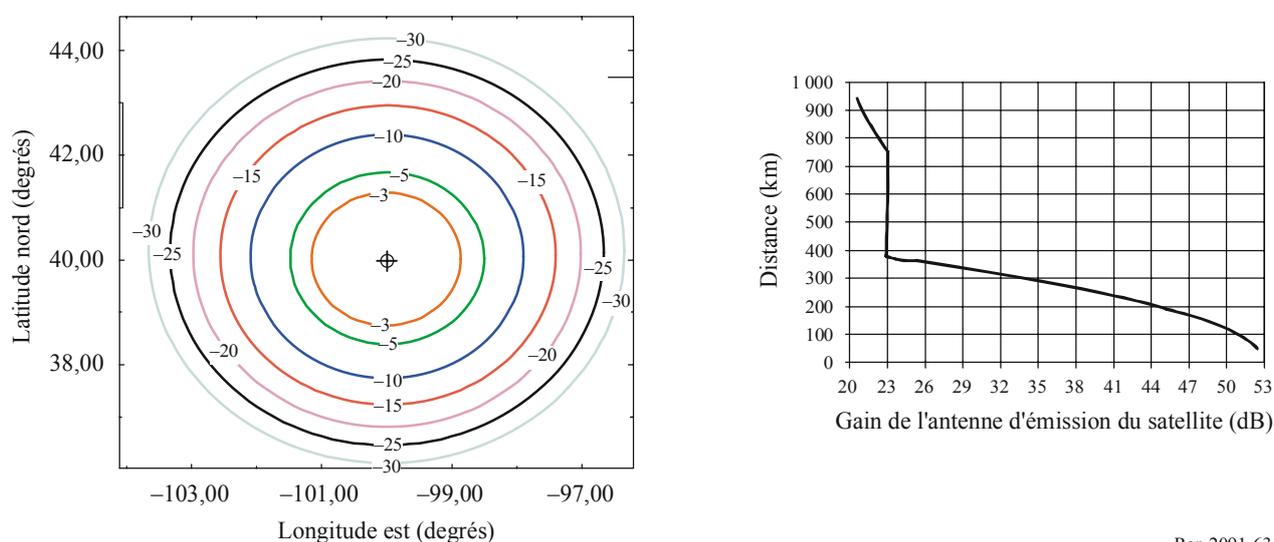
### 16.5.2.2 Isolement géographique

Si des systèmes du SFS et du SRS fonctionnant dans la bande 40,5-42,5 GHz ne réussissent pas à mettre en œuvre les filtres d'émission supplémentaires nécessaires pour respecter les critères de brouillage gênant pour les stations du service de radioastronomie fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz, on devrait envisager l'isolement géographique comme technique de réduction des brouillages.

Sur la base du Tableau 43, la taille du faisceau d'antenne d'émission du satellite est comprise entre  $0,3^\circ$  et  $0,6^\circ$ . La partie de gauche de la Fig. 63 montre les contours de gain d'une antenne de station spatiale OSG ayant un gain crête de 53 dBi et une ouverture de faisceau à 3 dB de  $0,4^\circ$ . La courbe de droite de la Fig. 63 indique, pour n'importe quelle distance, l'avantage de l'isolement géographique en ce qui concerne le gain de crête.

FIGURE 63

Contours de gain de l'antenne satellite et distance entre le centre de faisceau et le bord de la zone de couverture en fonction du gain d'antenne d'émission du satellite



Rap 2091-63

### 16.5.2.3 Forme du spectre du signal SFS/SRS

La forme d'onde utilisée par le SFS/SRS pour la transmission d'informations pourrait être choisie de façon à minimiser la décroissance spectrale, et ainsi limiter la quantité de rayonnements non désirés émise. De même, on pourrait concevoir ou exploiter l'amplificateur à haute puissance de façon à réduire encore le niveau de rayonnements non désirés provenant du signal du SFS/SRS.

### 16.5.2.4 Bande de garde

Une bande de garde entre les deux services permettrait une décroissance du signal et du filtre.

### 16.5.2.5 Autres méthodes de réduction des brouillages

D'autres méthodes de réduction des brouillages sont données dans la Recommandation UIT-R SM.1542.

### 16.5.3 Impact potentiel

#### 16.5.3.1 Service de radioastronomie

*Bande de garde en bordure de la bande attribuée au service de radioastronomie* – Dans le cas de mesures large bande du continuum, l'utilisation d'une bande de garde dans la bande de radioastronomie se traduirait en fait par une perte de données, étant donné qu'il faudrait accroître le temps d'intégration pour compenser la perte de largeur de bande. L'application pratique de cette méthode est limitée (voir § 16.1.3).

La bande comprend aussi les raies spectrales associées à la molécule de monoxyde de silicium (SiO) aux fréquences de repos de 42,519, 42,821, 43,122 et 43,424 GHz qui sont parmi les raies les plus importantes en astrophysique, mais qui ne figurent pas toutes dans la Recommandation UIT-R RA.314. Les possibilités de prévoir une bande de garde dans la bande de la radioastronomie sans nuire pour autant à la capacité d'observation d'une ou de plusieurs raies spectrales du SiO sont donc très limitées.

#### 16.5.3.2 Service fixe par satellite et service de radiodiffusion par satellite

##### 16.5.3.2.1 Filtrage au satellite

Dans l'exemple d'un système multifaisceaux ci-dessus, avec un filtre d'émission à 7 pôles, l'affaiblissement d'insertion est de 2,0 dB, ce qui correspond à une dégradation de 37% de la capacité du système. Un tel filtrage augmenterait le poids de la station spatiale de 120 grammes ou plus par faisceau, selon la puissance d'émission.

Dans l'exemple d'une antenne-réseau à commande de phase, avec un filtre d'émission à 15 pôles, l'affaiblissement d'insertion est de 2,0 dB, ce qui correspond à une dégradation de 37% de la capacité du système. Un tel filtrage augmenterait la masse de la station spatiale de 160 grammes ou plus par élément, selon la puissance d'émission. Pour une station spatiale avec une antenne-réseau à commande de phase de 2 818 éléments, 450 kg supplémentaires seraient ajoutés à la masse de la charge utile, avec ses conséquences négatives en ce qui concerne le coût et les performances.

De plus, la plupart des systèmes fonctionnant avec des antennes-réseaux à commande de phase préfèrent utiliser des amplificateurs de puissance à semi-conducteurs (SSPA, *solid state power amplifier*). Si des filtres d'émission supplémentaires sont nécessaires, en fonction de la puissance réelle d'émission, du fait d'un affaiblissement supplémentaire, il faudrait peut-être des amplificateurs ATOP (amplificateur à tube à ondes progressives). Il est difficile de mettre en œuvre des antennes-réseaux à commande de phase avec des amplificateurs ATOP.

##### 16.5.3.2.2 Isolement géographique

Cette méthode de réduction des brouillages n'est utilisable que si les radiotélescopes dans la zone de service du satellite sont peu nombreux et si leur emplacement est pris en compte lors de la conception du sous-système d'antennes de stations spatiales. Par ailleurs, cette méthode limite les possibilités de relocalisation des stations spatiales ou de réorientation des faisceaux vers d'autres portions du champ de vision du satellite.

##### 16.5.3.2.3 Forme du spectre du signal du SFS/SRS

La linéarité de l'amplificateur haute puissance (HPA, *high power amplifier*) et le point de la gamme dynamique auquel fonctionne l'amplificateur HPA déterminent la forme du spectre des émissions de la station spatiale. On peut réduire le niveau des rayonnements non désirés provenant de l'amplificateur haute puissance en exploitant l'amplificateur avec une puissance d'entrée inférieure ou en améliorant la linéarité de l'amplificateur. Cependant, le maintien en fonctionnement de l'amplificateur dans la gamme linéaire réduit les rayonnements non désirés mais l'efficacité de

l'amplificateur HPA est moindre. Les deux méthodes ont une incidence sur le débit de la station spatiale ainsi que sur son coût et son poids.

#### 16.5.3.2.4 Bande de garde

L'utilisation d'une bande de garde entraîne une réduction de la capacité du système du SFS/SRS si la bande de garde est mise en œuvre à l'intérieur de la bande qui lui a été attribuée.

### 16.6 Résultats des études

#### 16.6.1 Résumé

La majorité des sites de radioastronomie dans le monde utilise cette bande pour des mesures avec une seule antenne parabolique. Il faudrait combiner les techniques de réduction des brouillages pour respecter les niveaux de protection applicables aux mesures à antenne unique.

Dans une étude, on a examiné l'espacement en fréquence sans l'utilisation d'une autre méthode de réduction des brouillages. On a supposé que les systèmes du SFS et du SRS fonctionnent jusqu'à 42,0 GHz et que les niveaux des rayonnements non désirés sont ceux de la Recommandation UIT-R SM.1541. L'étude montre que le niveau de brouillage gênant pour les observations VLBI donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 est respecté. Cependant, les seuils de puissance surfacique pour les observations de raies avec une seule antenne parabolique ou les observations du continuum ne sont pas respectés, et le brouillage serait suffisamment grave au point d'empêcher toute mesure de radioastronomie utile si aucune autre méthode de réduction des brouillages n'est mise en œuvre.

Le scénario de cas le plus défavorable présenté au § 16.4.1, n'utilisant aucune méthode de réduction des brouillages, se fonde sur la largeur de bande nécessaire de 500 MHz et une décroissance spectrale au rythme indiqué dans la Recommandation UIT-R SM.1541. De plus, dans cet exemple, on suppose que la largeur de bande nécessaire s'étend jusqu'au bord de l'attribution du SFS à 42,5 GHz.

Le niveau des rayonnements non désirés dans le cas le plus défavorable considéré dépasse les limites du numéro 5.551G du RR ainsi que les critères de la Recommandation UIT-R RA.769 pour les observations de raies spectrales avec une seule antenne parabolique et des observations du continuum. Cependant, le critère pour les observations VLBI est respecté dans la totalité de la bande 42,5-43,5 GHz. On peut régler le problème en utilisant des méthodes de réduction des brouillages. Les méthodes applicables à des systèmes concrets sont très variées et il faudra vraisemblablement les combiner.

Si, pour certains systèmes, la représentation provisoire du spectre du SFS, telle qu'elle est décrite dans l'Appendice technique de l'Annexe 1, est utilisée plutôt que celle de la Recommandation UIT-R SM.1541, l'écart par rapport aux critères pour les observations du continuum est réduit. L'écart n'est pas nécessairement moins important au bord de la bande, si aucune autre méthode de réduction des brouillages n'est mise en œuvre. Il a cependant été indiqué que cette représentation spectrale était basée sur l'expérience acquise dans des bandes de fréquences inférieures.

Si on utilise une ou plusieurs des méthodes de réduction des brouillages identifiées dans la présente Annexe, les systèmes du SFS/SRS devraient pouvoir respecter le critère de protection de la Recommandation UIT-R RA.769 pour les mesures du continuum. Par ailleurs, il pourrait être difficile pour les systèmes du SFS de respecter le critère applicable aux raies spectrales dans certaines parties de la bande 42,5-43 GHz. Il n'est pas garanti qu'il soit réaliste d'exiger des systèmes du SFS qu'ils respectent les critères du numéro 5.551G du RR, étant donné qu'une telle exigence pénaliserait beaucoup le fonctionnement de ces systèmes et ferait considérablement augmenter les coûts des systèmes à satellites.

Il est donc peu vraisemblable que tous les besoins des deux services puissent être satisfaits. D'autres travaux seront nécessaires pour compléter l'étude.

### 16.6.2 Conclusions

Dans la bande considérée, le niveau seuil de brouillage gênant pour les observations de radioastronomie tel qu'il est donné dans la Recommandation UIT-R RA.769, peut être respecté par les systèmes du SFS et du SRS dans le cas d'observations VLBI. Pour les observations du continuum, les systèmes du SFS/SRS pourraient respecter ce seuil si des méthodes de réduction des brouillages sont mises en œuvre. Pour les observations de raies spectrales, le seuil pourrait être respecté dans une partie de la bande. Il n'est pas certain que l'utilisation de méthodes de réduction des brouillages suffise pour respecter les critères, au bord inférieur de la bande attribuée au service de radioastronomie, dans le cas des raies spectrales.

Comme près des deux tiers des sites de radioastronomie dans le monde (voir le Tableau 42) utilisent cette bande pour réaliser des mesures avec une seule antenne parabolique, il est donc important de combiner l'utilisation des diverses techniques de réduction des brouillages pour respecter les niveaux de protection applicables à ce type de mesures.

---