

RECOMMANDATION UIT-R SM.1633-0*

Analyse de compatibilité entre un service passif et un service actif ayant des attributions dans des bandes adjacentes et voisines

(2003)

Domaine d'application

La présente Recommandation sert de base concernant la méthode d'analyse de compatibilité entre un service passif et un service actif ayant des attributions dans des bandes adjacentes et voisines.

Mots clés

Compatibilité, rayonnements non désirés, seuil, bande attribuée à un service actif, bande attribuée à un service passif

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le service de radioastronomie (SRA), le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et le service de recherche spatiale (passive) sont fondés sur la réception des émissions naturelles à des niveaux de puissance bien moindres que ceux qui sont généralement utilisés dans les autres services de radiocommunication;
- b) que, du fait de ces faibles niveaux de puissance reçus, ces services passifs sont généralement plus vulnérables que d'autres services aux brouillages causés par des rayonnements non désirés;
- c) que les limites générales des rayonnements non essentiels contenues dans l'Appendice 3 du Règlement des radiocommunications (RR) pourraient ne pas protéger dans la mesure souhaitable les services passifs contre les brouillages; cependant, en fonction de la séparation entre les bandes attribuées aux services actifs et passifs, les niveaux réels des rayonnements non essentiels tombant dans une bande passive pourraient être inférieurs;
- d) que les niveaux généraux d'émissions dans le domaine des émissions hors bande contenus dans la Recommandation UIT-R SM.1541 pourraient ne pas protéger le fonctionnement des services passifs contre les brouillages;
- e) que les services passifs et actifs peuvent utiliser différentes pratiques opérationnelles et techniques de réduction des brouillages pour minimiser l'impact des brouillages sur les services passifs;
- f) que l'applicabilité de ces mesures de réduction des brouillages peut être limitée pour des raisons pratiques et économiques;
- g) que la charge de la réalisation de la compatibilité entre services actifs et passifs devrait être répartie équitablement;
- h) que la Recommandation 66 (Rév.CMR-2000) dispose, au point 5 du *recommande*, que l'UIT-R devrait «étudier les bandes de fréquences et les situations dans lesquelles il faudra peut-être, pour des raisons techniques ou d'exploitation, fixer pour les rayonnements non essentiels des limites

* La Commission d'études 1 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2018 et en 2019, conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

plus rigoureuses que les limites générales indiquées dans l'Appendice 3, afin de protéger les services de sécurité et les services passifs comme le service de radioastronomie, et l'incidence sur tous les services concernés de la mise en œuvre ou non de ces limites»;

j) que la Recommandation 66 (Rév.CMR-2000) dispose, au point 6 du *recommande*, que l'UIT-R devrait «étudier les bandes de fréquences et les situations dans lesquelles il faudra peut-être, pour des raisons techniques ou d'exploitation, fixer des limites aux émissions hors bande, afin de protéger les services de sécurité et les services passifs comme le service de radioastronomie, et l'incidence sur tous les services concernés de la mise en œuvre ou non de ces limites»;

k) que les situations dans lesquelles les services passifs risquent d'avoir les plus grandes difficultés sont celles dont la liste figure au Tableau 1,

recommande

1 que la méthode exposée à l'Annexe 1 soit utilisée pour effectuer l'analyse de compatibilité entre un service passif et un service actif fonctionnant dans les bandes attribuées dont la liste figure au Tableau 1;

2 que d'autres méthodes conduisant à des solutions de compatibilité soient utilisées lorsque cela est approprié;

3 que les résultats des études bande par bande (voir les Annexes 2 à 21) soient pris en considération dans l'élaboration de solutions aux problèmes de brouillage entre les services indiqués.

TABLEAU 1

Liste de référence des bandes de fréquences concernant les études bande par bande

Bande de service passif	Bande de service actif	Annexe
1 400-1 427 MHz (SRA)	1 452-1 492 MHz (SRS)↓	2
1 400-1 427 MHz (SETS)	1 350-1 400 MHz (RN)	3
1 400-1 427 MHz (SETS/SRA)	1 525-1 559 MHz (SMS)↓	4
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 559-1 610 MHz (SRNS)↓	5
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS)↓	6
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 525-1 559 MHz (SMS)↓	7
2 690-2 700 MHz (SRA)	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS)↓	8
10,6-10,7 GHz (SETS)	10,7-10,95 GHz (SFS)↓	9
10,6-10,7 GHz (SRA)	10,7-10,95 GHz (SFS)↓	10
21,2-21,4 GHz (SETS)	20,2-21,2 GHz (SMS, SFS)↓	11
22,21-22,5 GHz (SRA)	21,4-22 GHz (SRS)↓	12
23,6-24 GHz (SETS)	22,55-23,55 GHz (SIS)	13
31,3-31,5 GHz (SETS)	30-31 GHz (SFS, SMS)↑	14
31,3-31,5 GHz (SETS)	31,0-31,3 GHz (SF)	15
31,5-31,8 GHz (SETS)	31,8-33,4 GHz (SF)	16
31,5-31,8 GHz (SETS)	31,8-33,4 GHz (RN)	17
42,5-43,5 GHz (SRA)	41,5-42,5 GHz (SRS, SFS)↓	18
50,2-50,4 GHz (SETS)	47,2-50,2 GHz (SFS)↑	19
50,2-50,4 GHz (SETS)	50,4-51,4 GHz (SFS, SMS)↑	20
52,6-52,8 GHz (SETS)	51,4-52,6 GHz (SF)	21

SIS: service intersatellites

SRNS: service de radionavigation par satellite

Annexe 1

Méthode

1 Généralités

La méthode générale suivante définit des moyens systématiques pour calculer des critères de compatibilité mutuellement acceptables entre les opérateurs de services actifs et passifs fonctionnant dans les bandes qui leur sont attribuées. Le diagramme de flux de la Fig. 1 résume la méthode, chaque étape étant décrite en détail au § 2 de la présente Annexe. La procédure étant itérative, plusieurs cycles peuvent être nécessaires pour trouver une solution.

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 nuisible 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 puissances surfaciques qui figurent à l'Article 21 du RR. On doit alors utiliser ces limites réglementaires de la puissance émise par le service actif pour déterminer le niveau du cas le plus défavorable de rayonnements non désirés dans la bande passive (boîte (ii)).

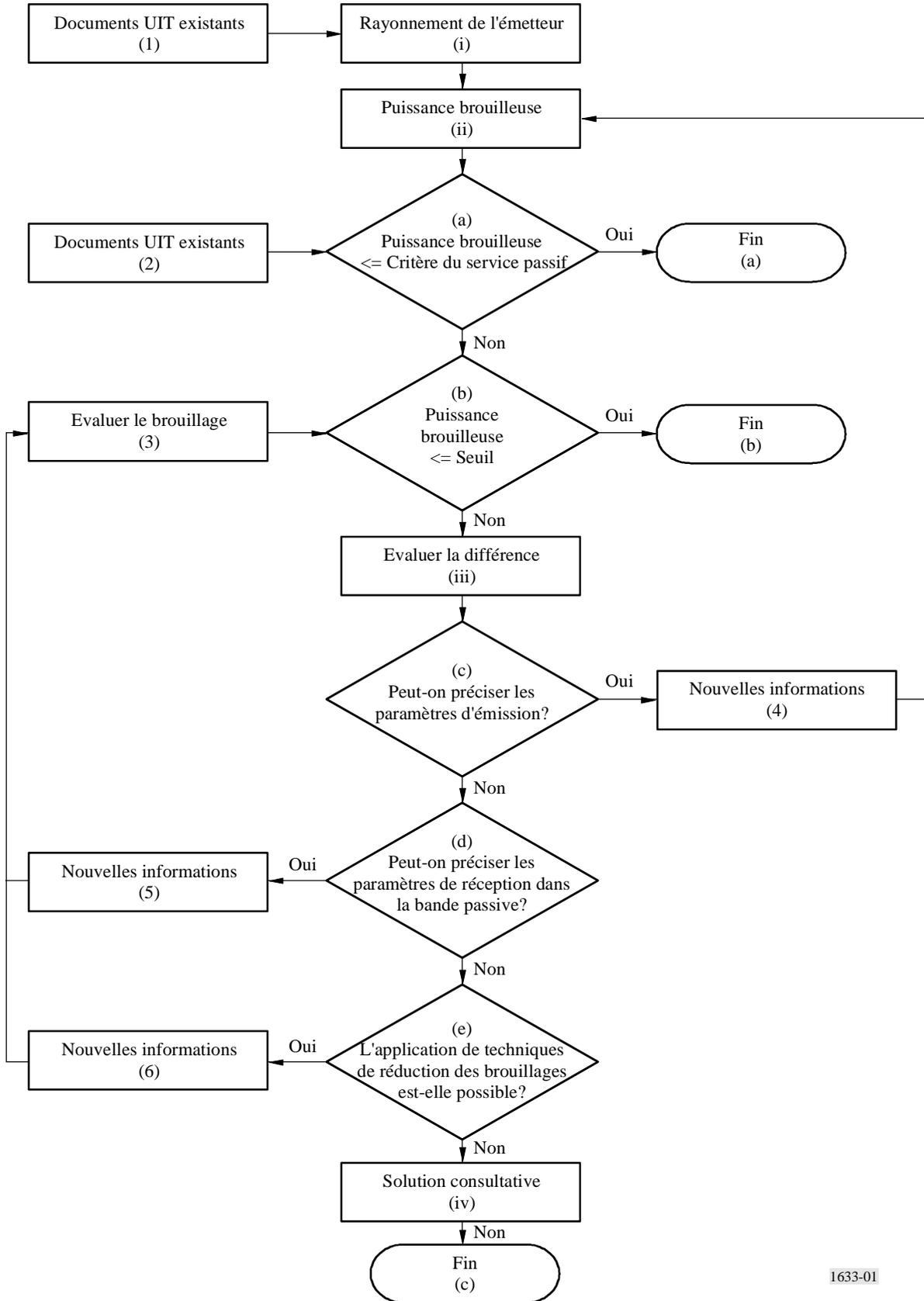
L'étape suivante consiste à déterminer si ce niveau de brouillage dans le cas le plus défavorable est supérieur au seuil de brouillage du service passif pour la bande considérée (losange (a)). Ces niveaux de seuil sont donnés dans diverses Recommandations UIT-R (boîte (2)) par exemple les Recommandations 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'impact négatif 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 accord de travail 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 réglementaire qui dépasse la portée technique de la présente Recommandation. Cependant, dans le cas du losange (a), si le brouillage est estimé 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) comme suite à la modification ou à l'addition de paramètres, et à une nouvelle répartition des inconvénients. Ces modifications ou additions de paramètres 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 sont 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).

FIGURE 1

Processus pour l'évaluation du fonctionnement des bandes adjacentes et voisines attribuées aux services passifs et actifs



Lorsque, durant l'évaluation des différences, comme indiqué dans la boîte (iii), il apparaît que l'écart entre les deux niveaux est important, 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 l'écart est faible, il peut y avoir une possibilité de modifier légèrement une des hypothèses sous-jacentes de façon à permettre de converger vers une solution à l'itération suivante. Un examen des données dont on dispose peut indiquer quelles hypothèses supplémentaires pourraient être intéressantes.

De ce point de vue, un ou plusieurs paramètres du service actif, paramètres du service passif, critères de compatibilité ou méthodes de réduction des brouillages possibles peuvent être pris en considération pour des modifications par itérations successives. Il faudra effectuer autant d'itérations que nécessaire pour, soit résoudre complètement le problème, soit avoir épuisé toutes les solutions possibles. Dans ce dernier cas, et si aucun fonctionnement compatible ne paraît possible, la méthode s'achève alors sur une «solution consultative». Cela implique que la seule solution possible est que l'opérateur d'un système actif donné consulte celui d'un système de service passif pour établir une solution bilatérale, si cela est possible. Les particularités de telles solutions consultatives dépassent le domaine d'application de la présente Recommandation.

La présente méthode ne traite que les risques de brouillage venant d'un seul service actif fonctionnant dans la bande qui lui est attribuée. On notera que le SETS (passive) peut subir simultanément des brouillages causés par plusieurs services, et qu'il peut donc être nécessaire de prendre en compte les effets cumulatifs de services actifs multiples.

2 Description détaillée du diagramme de flux

2.1 Boîte (1): Documents existants de l'UIT

Cette boîte se rapporte aux documents qui peuvent être pertinents pour déterminer les rayonnements émis. Les articles suivants du RR, les Recommandations et Rapports UIT-R concernent la détermination de la puissance d'émission qui peut passer dans les bandes passives et sont fournis pour référence. Ces dispositions réglementaires et Recommandations doivent servir comme point de départ pour l'évaluation du risque de rayonnements non désirés d'un service actif dans les bandes d'un service passif.

Règlement des radiocommunications

Articles 1, 5, 21, 22, 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 d'autres services
- UIT-R F.1191: Largeurs de bande et rayonnements non désirés des systèmes numériques du service fixe
- UIT-R SM.326: Détermination et mesure de la puissance des émetteurs radioélectriques à modulation d'amplitude
- UIT-R SM.328: Spectres et largeurs de bande des émissions
- UIT-R SM.329: Rayonnements non désirés dans le domaine des 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 complexes

- 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.

Certaines données peuvent être nécessaires au-delà de ce qui est fourni par ces Recommandations. Entre autres:

- le facteur 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 peut être nécessaire de formuler des hypothèses pour certains paramètres. D'autres informations comme celles sur le déploiement peuvent nécessiter la construction de modèles de simulation.

2.2 Boîte (2): Documents existants de l'UIT

Cette boîte se rapporte à des documents relatifs au choix des critères appropriés des services passifs pour leur protection contre les brouillages. Les divers critères des services passifs, chacun d'eux étant développé par le groupe de travail responsable des services passifs respectifs, servent d'entrée du losange (a) sur le diagramme de flux. Ces Recommandations ont été développées au fil du temps pour aider d'autres groupes de travail, traitant des services actifs, à évaluer le risque de brouillage de leurs services respectifs à l'égard des 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.

2.3 Boîte (3): Evaluer le 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 peut supposer des niveaux de lobe latéral inférieurs à la valeur de gain d'antenne en réception de 0 dBi supposée habituellement pour le SRA. Si c'était le cas, le processus de recalcul du critère de partage serait effectué dans la boîte (3).

Pour évaluer le brouillage causé par des systèmes SFS non OSG à des stations du SRA, 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.

2.4 Boîtes (4), (5) et (6): Nouvelles informations

La fonction de ces boîtes est de traiter les nouvelles informations introduites dans l'étude de partage pendant qu'elle procède à des itérations multiples. Par exemple, ce serait le cas lorsqu'on fait usage des informations de l'Appendice 4 du RR soumises au Bureau des radiocommunications (BR) dans la boîte (4) pour justifier l'utilisation dans la bande d'une puissance surfacique inférieure à la valeur réglementaire. D'autres informations peuvent consister en informations sur un filtre ou une antenne dans l'une des boîtes (4), (5) et (6) qui sont introduites dans le processus afin de résoudre le problème. De nouvelles informations peuvent aussi consister en l'entrée de données supplémentaires non considérées antérieurement, telles que des Recommandations UIT-R spécifiques, des Recommandations régionales, ou des normes régionales. Des exemples pour les boîtes concernées sont donnés ci-après:

Boîte (4)

Aux plus hautes fréquences, les gabarits d'antenne d'émission peuvent avoir une ouverture de faisceau significativement plus étroite afin de maximiser la puissance dans une zone de service limitée de façon à 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 de perturbation du service passif. Au lieu d'avoir un niveau applicable à la totalité de la surface terrestre, il peut être possible d'assouplir le niveau sur une fraction de celle-ci. Il en résultera que la probabilité qu'une station du SRA reçoive des brouillages nuisibles venant d'une direction spécifique devient très faible.

Dans la bande 40-42,5 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 gabarits d'antennes de réception propres à la bande sont des caractéristiques qui pourraient être utilisées pour diminuer la différence entre le niveau de brouillage nuisible du service passif et le niveau reçu de rayonnements non désirés.

Boîte (6)

La Recommandation UIT-R SM.1542 donne une abondante liste de 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 être applicables à la situation à traiter. En appliquant certaines méthodes de réduction des brouillages, il peut souvent être nécessaire de déterminer comment sera répartie la charge résultant de leur application.

2.5 Boîte (i): Rayonnement de l'émetteur

L'objet de cette boîte est d'établir la densité de puissance émise dans la bande au rebord de l'antenne.

2.5.1 Cas général

On peut généralement trouver la valeur par:

$$P_{density} = p.i.r.e.density - G_t \quad (1)$$

où:

- $P_{density}$: densité de puissance émise dans l'antenne d'émission (dB(W/Hz))
- $p.i.r.e.density$: densité de p.i.r.e. en émission (dB(W/Hz))
- G_t : gain de l'antenne d'émission (dBi).

La densité de puissance émise peut aussi être calculée avec:

$$P_{density} = 10 \log(p_t) - OBO - 10 \log(BW_{nb}) - L_c \quad (2)$$

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 distribuée sur la largeur de bande nécessaire. Si cette hypothèse est erronée, on peut introduire une correction en modifiant la largeur de bande en conséquence.

2.5.2 Niveau de puissance émise dans la bande par un satellite sur la base du Tableau 21.4 du RR

Pour calculer la densité de puissance émise à partir des limites de puissance surfacique, on a alors:

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

où:

- pfd : puissance surfacique sur la liaison descendante (dB(W/(m² · MHz)))
- d : trajet oblique, du satellite à la station terrienne (km)
- G_t : gain d'antenne d'émission (dBi)
- L_c : affaiblissement de circuit entre l'amplificateur d'émission et l'antenne d'émission (dB).

Si on utilise ces valeurs, le résultat donnera le plus haut niveau possible de rayonnement de l'émetteur, ce qui est irréaliste dans de nombreux cas. Cela tient à divers facteurs comme la décroissance réelle de l'antenne d'émission et la forme spectrale de l'onde qui 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. Typiquement, le gain d'antenne d'émission de satellite varie comme suit:

- pour les systèmes SMS non OSG, le gain varie entre 17 dBi et 31 dBi selon les altitudes du satellite, les angles d'élévation;
- pour les systèmes SMS OSG, le gain varie entre 41 dBi et 45 dBi;
- pour les gains d'antenne de satellite SFS des bandes 4/6 GHz et 12/14 GHz existantes, le gain varie entre 20 dBi et 42 dBi. Cependant, le gain d'antenne des futurs systèmes de satellite à 4/6 GHz et 12/14 GHz peut être significativement plus élevé que celui des systèmes existants; et

- pour les systèmes à satellites SFS dans les bandes des 20/30 GHz et 40/50 GHz, le gain d'antenne d'émission de satellite se situe entre 44 dBi et 60 dBi.

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 d'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 peut se calculer par:

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

où:

P_{total} : puissance d'émission RF totale (W)

N_{beam} : nombre de faisceaux

BW_{as} : 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).

2.5.4 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 selon l'Appendice 4 du RR.

2.6 Boîte (ii): Puissance brouilleuse

L'objet de cette étape est de calculer le niveau de rayonnement non désiré reçu par le service passif sur la base de la puissance surfacique dans la bande déterminée dans la boîte (i). La façon dont cela est fixé va varier selon les caractéristiques du service d'émission et selon celles du service passif recevant le brouillage. Les risques de brouillage causé au service passif du fait des rayonnements non désirés du service actif pourront être calculés sur la base de ce qui suit:

$$pfd_{(unwanted\ emissions)} = pfd_{in-band_active} - OoB - L \quad (5)$$

où:

$pfd_{(unwanted\ emissions)}$: niveau de puissance surfacique sur les sites de réception du SRA

$Pfd_{in-band_active}$: niveaux de puissance surfacique dans la bande des systèmes de service actif. Les limites maximales de puissance surfacique admissibles indiquées dans le Tableau 21-4 du RR peuvent être utilisées pour le calcul. Dans certains cas, il n'y a pas de limite 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 protection hors bande (par exemple, sur la base de la Recommandation UIT-R SM.1541))

L : l'affaiblissement par les gaz atmosphériques et pertes par scintillement (Recommandation UIT-R P.676 – Affaiblissement dû au gaz de l'atmosphère).

Le numéro 1.153 du RR et la Recommandation UIT-R SM.1541 suggèrent des méthodes de détermination des rayonnements des services actifs au sein du domaine des émissions hors bande. En application de 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 sert à calculer les niveaux des rayonnements non désirés provenant des services actifs qui surviennent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

2.6.1 Récepteur du SETS

Le SETS est vulnérable aux brouillages des émetteurs de terre, comprenant aussi bien des émetteurs isolés à forte puissance que des fortes densités d'émetteurs à faible puissance. Les émetteurs actifs depuis l'espace pourraient ajouter à l'énergie reçue par 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 provenant des systèmes actifs sur un récepteur SETS incluent:

- le gain du système SETS;
- les caractéristiques de pointage du système SETS;
- l'altitude du système SETS; et
- l'absorption atmosphérique.

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 apparaissent dans le faisceau principal de l'antenne du détecteur. Les informations nécessaires à l'évaluation de la puissance reçue au sein du pixel SETS, en provenance des systèmes actifs déployés, sont les suivantes:

- la taille du pixel SETS;
- le nombre de terminaux susceptibles d'être déployés dans la taille du pixel et utilisant la même fréquence au même moment;
- une approximation du gain des systèmes terrestres dans la direction du satellite SETS. La Recommandation UIT-R F.1245 donne un gabarit d'antenne pour les systèmes de service fixe point à point et la Recommandation UIT-R F.1336 donne les gabarits de rayonnements de référence pour les systèmes point-multipoint (P-MP). 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 SETS est très faible. En première approche, le gain moyen des systèmes du service fixe dans la direction du satellite SETS à utiliser dans le calcul de la puissance cumulée reçue au satellite SETS peut être approché en prenant pour chacun des terminaux du service fixe un gain qui est celui 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);
- selon la Recommandation UIT-R F.1191 que, «pour les systèmes de service fixe numériques, la largeur de bande nécessaire soit considérée comme identique à la largeur de bande occupée» et que la puissance de service fixe en dehors de la largeur de bande occupée

(inférieure et supérieure) ne devrait pas dépasser 0,5% de la puissance moyenne totale du rayonnement donné (numéro 1.153 du RR). Les valeurs de puissance moyenne totale sont données dans la Recommandation UIT-R F.758.

2.6.1.2 Emetteur pointant vers des détecteurs

Dans certains cas, des émetteurs individuels pourraient brouiller des mesures alors que le détecteur est dans le lobe principal de la station de Terre. Les informations nécessaires pour l'évaluation de la puissance reçue de la part du système actif sont les suivantes:

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

2.6.1.3 Liaisons descendantes de satellite

Dans certains cas, un brouillage est possible à partir des signaux réfléchis sur la surface de la Terre, qui peuvent entrer dans le faisceau principal de la station. Les informations nécessaires pour l'évaluation de la puissance reçue de la part du système actif sont:

- le coefficient de réflexion du terrain ou plan d'eau;
- le gain du système spatial dans la direction de la Terre;
- l'altitude du système spatial ou bien la puissance surfacique au niveau de la Terre.

2.6.2 Récepteur du SRA

2.6.2.1 Rayonnements non désirés provenant du service fixe

On peut s'attendre à un risque de brouillage du SRA par des systèmes à bord de plates-formes à haute altitude (HAPS, *high altitude platform stations*). La Recommandation UIT-R SM.1542 n'a pas identifié d'autres questions se rapportant à des sources terrestres de brouillage des bandes de la radioastronomie.

2.6.2.2 Rayonnements non désirés de la part des systèmes spatiaux

La puissance brouilleuse dans la station du SRA provient alors des liaisons descendantes du service par satellite, aussi bien OSG que non OSG. Dans le premier cas le brouillage ne variera généralement pas en fonction de la localisation ou du temps. Dans le second cas, la puissance brouilleuse variera à la fois dans le temps et selon la localisation dans le ciel. En conséquence, les deux cas sont traités séparément.

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

Le niveau des rayonnements non désirés peut être établi comme suit:

$$I = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM} df \quad (6)$$

où:

- I : puissance brouilleuse à la station du SRA (W/m²)
- f_1, f_2 : bords respectivement supérieur et inférieur de la bande de réception du SRA (Hz)
- $p(f)$: puissance de rayonnement non désiré à la bordure de l'antenne d'émission (W)
- $g(f)$: gain de l'antenne d'émission dans la direction du site de radioastronomie
- SL : affaiblissement de dispersion (dB)
- $ATM(f)$: absorption atmosphérique dans la bande $f_1 - f_2$ en fonction de la fréquence.

On notera qu'aussi bien la puissance du signal émis que le gain du sous-système d'antenne varient avec la fréquence et, comme tels, sont représentés comme fonctions de la fréquence. Le brouillage total au site de la station du SRA est l'intégrale de ces fonctions, comme indiqué ci-dessus, sur la fréquence passe-bande du récepteur. Dans les cas où le niveau de rayonnement non désiré et le gain d'antenne sont constants sur toute la largeur de bande du récepteur du service passif, on peut simplifier la fonction comme suit:

$$I = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} \quad (7)$$

Dans les cas où la bande active est adjacente à la bande passive, on peut supposer que le gain d'antenne d'émission reste constant à la fois dans la bande d'émission et dans la bande passive. Cependant cela peut souvent n'être pas le cas, particulièrement 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.

2.6.2.2 Rayonnements non désirés des systèmes à satellites non OSG (liaison descendante)

Pour évaluer les brouillages provenant des systèmes SFS non OSG sur les stations du SRA, on doit utiliser la méthode de la Recommandation UIT-R S.1586. De même, pour évaluer les brouillages causés par des systèmes SMS et SRNS non OSG à des stations du SRA, on doit utiliser la méthode de la Recommandation UIT-R M.1583.

2.7 Boîte (iii): Evaluer la différence

L'objet de cette boîte est de permettre de passer en revue les données d'entrée et la différence avant de procéder à une autre itération selon la méthode. Si on est arrivé à cette boîte, le brouillage reçu est alors supérieur au seuil, ce qui implique qu'on doit 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 répartition préliminaires comportent des hypothèses grossières sur les deux systèmes, elles doivent être précisées de façon à être capables de fixer de façon appropriée le risque de brouillage. Des descriptions plus précises du système et des méthodes de calcul plus fines peuvent exiger un plus haut degré de complexité de calcul, mais peuvent révéler que, finalement, le risque de brouillage est significativement inférieur à ce qu'indiquaient des hypothèses plus grossières.

Une fois que l'étude est réputée être suffisamment précise et qu'il existe toujours un écart, il sera nécessaire de faire des restrictions pour l'un ou l'autre côté ou les deux, afin d'éclaircir le problème. Ces restrictions peuvent prendre la forme de restrictions de fonctionnement, de changements de caractéristiques des équipements ou d'une modification des critères de répartition.

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

2.8 Boîte (iv): Solution consultative

Après plusieurs itérations de la méthode, il peut encore exister un désaccord entre les services actif et passif. Si on ne peut faire aucune autre modification des paramètres, des critères ou méthodes de réduction des brouillages de l'un ou l'autre système, il n'y a alors pas de solution générale permettant à tous les utilisateurs de la bande active de la partager avec tous les utilisateurs du

service passif. La seule solution restante qui puisse alors être explorée est que les utilisateurs entrent en discussion sur des sous-ensembles de la bande active et de la bande passive pour essayer de trouver un accord entre eux. Par exemple, entre deux bandes adjacentes, il peut n'être pas possible de trouver une solution entre les systèmes SFS et SRA. Cependant, une solution peut se trouver entre le SFS non OSG et le SRA.

La méthode de la Fig. 1 peut se révéler utile en provoquant les discussions de ce paragraphe entre des sous-ensembles d'opérateurs partageant la bande.

Cependant, si de plus petits groupes de consultation ne peuvent parvenir à un accord, la méthode trouve alors ses limites sans avoir résolu le problème. Les progrès résultant des itérations de la méthode peuvent se révéler utiles pour réduire le désaccord et en suggérant de nouveaux domaines d'étude. Ils peuvent aussi servir de base à des solutions multiples parmi lesquelles les régulateurs pourront faire un choix.

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 tirés de 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.

2.10 Losange (b): Puissance brouilleuse \leq seuil

Sur des itérations ultérieures, le seuil du losange (b) peut indiquer que la disposition opérationnelle qui donne une protection adéquate du service passif tout en minimisant les restrictions subies par le service actif est possible. Les paramètres utilisés peuvent résulter des procédures des losanges (c), (d) ou (e). La charge résultant de cette disposition devrait être distribuée équitablement entre les deux services. Dans le cas de plusieurs services actifs brouilleurs, la procédure d'itération devrait être suivie pour chaque service individuel, pouvant résulter en différentes dispositions opérationnelles pour chacun. Le principe directeur est que la charge totale sur toutes les parties impliquées ne devrait pas rendre une de ces parties incapable de fonctionner effectivement.

2.11 Losange (c): Peut-on préciser les paramètres d'émission?

Après l'examen fait avec la boîte (iii), il se peut qu'on puisse modifier les paramètres d'émission du service actif. Par exemple, les limites réglementaires utilisées comme niveaux inférieurs, qui sont plus représentatives de la situation courante, peuvent remplacer les hypothèses de cas le plus défavorable dans la prévision des systèmes futurs. Ces hypothèses modifiées peuvent alors être prises en compte dans les itérations suivantes.

2.12 Losange (d): Peut-on préciser les paramètres de réception dans la bande passive?

Après l'examen fait avec la boîte (iii), il se peut qu'on puisse modifier les paramètres de rayonnement du service passif. Par exemple, les diagrammes d'antenne réels peuvent être utilisés au lieu de diagrammes plus conservateurs. Ces hypothèses modifiées peuvent alors être prises en compte dans les itérations suivantes.

2.13 Losange (e): L'application de techniques de réduction des brouillages est-elle possible?

Lorsqu'on ne peut plus aller plus loin dans la précision des paramètres des services actif et passif et qu'il reste encore un écart entre le brouillage et le seuil de partage, les méthodes de réduction des brouillages peuvent être prises en considération comme moyen de réduire l'écart. La présente section comporte trois méthodes vraisemblables, quoiqu'il en existe d'autres (par exemple, la liste de l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R SM.1542).

2.13.1 Système actif

2.13.1.1 Filtrage par le système actif

Une méthode de protection adéquate des services passifs est l'introduction de filtres additionnels dans la chaîne RF de l'émetteur pour réduire le niveau des rayonnements non désirés. Dans certains cas, ceci peut ne constituer qu'une charge minimale car l'architecture de l'émetteur permet l'insertion d'un filtre ou l'amélioration d'un filtre existant. Cependant, dans certains cas, l'applicabilité des filtres peut être affectée par des considérations de coût, de poids et/ou de réduction de capacité.

2.13.1.2 Utilisation d'une bande de garde

Une méthode de réduction du niveau des rayonnements non désirés provenant de l'émetteur du service actif sur la bande passive est l'introduction d'une bande de garde. La bande de garde permet de réduire la puissance du brouillage reçu par l'opérateur du service passif. Bien que ceci puisse être efficace lorsque les deux systèmes partagent des bandes adjacentes, cela peut n'être que de peu de valeur lorsque la séparation entre les bandes est importante, car la largeur de bande supplémentaire peut ne pas fournir d'amélioration substantielle à l'atténuation par le filtrage. De plus, l'insertion d'une bande de garde réduit la largeur de bande disponible pour l'un des services ou pour les deux.

Les calculs suivants devraient être entrepris pour évaluer l'impact d'une bande de garde. La puissance brouilleuse (W) reçue par le service passif est la suivante:

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

où:

- I : puissance brouilleuse reçue par le récepteur du service passif au sein de 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 du rayonnement non désiré en fonction de la fréquence à la bordure 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 d'espace libre (m^2)
- $ATM(f)$: absorption atmosphérique dans la bande en fonction de la fréquence
- $r(f)$: caractéristiques de transfert des filtres de réception du service passif en fonction de la fréquence.

La mise en oeuvre d'une bande de garde implique un glissement des courbes aussi bien du récepteur que de l'émetteur. En conséquence du glissement de fréquence, certaines des courbes peuvent changer de forme pour s'accommoder de la largeur de bande disponible.

2.13.1.3 Utilisation de l'isolement géographique

Une autre méthode pour éviter des brouillages gênants est de s'assurer que la station de Terre du service passif est suffisamment éloignée de la vue directe de l'émetteur du service actif. Si les stations de Terre 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 de Terre du service passif sont peu nombreuses et que 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 de Terre du service passif.

2.13.2 Système passif

Voir la Recommandation UIT-R SM.1542.

2.14 Ovals finaux (a), (b), (c)

Fin (a): La méthode se terminant à ce point détermine que la compatibilité a été démontrée entre les paramètres initiaux du service passif et les paramètres initiaux ou précisés du service actif. Un résultat possible à ce point est qu'il n'était besoin d'aucune modification et que les paramètres initiaux analysés représentent des systèmes compatibles.

Fin (b): La méthode se terminant à ce point détermine que la compatibilité a été démontrée entre les paramètres initiaux du service passif et les paramètres initiaux ou précisés du service actif, ou en prenant en compte d'autres techniques de réduction des brouillages.

Fin (c): La méthode se terminant à ce point détermine que la compatibilité ne peut pas être démontrée avec les paramètres initiaux ou précisés de chaque service. Il est nécessaire que les administrations qui soutiennent les systèmes spécifiques entrent en négociations au sujet de ces systèmes.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Le présent Appendice technique à l'Annexe 1 rassemble des informations sur des aspects techniques. Ils ont été retenus soit parce qu'ils présentent un intérêt pour les calculs qui devront être effectués (par exemple, les coefficients de propagation dans le § 3), soit parce qu'ils feront l'objet d'études ultérieures.

1 Calculs de puissance brouilleuse

L'utilisation du numéro 1.153 du RR et de la Recommandation UIT-R SM.1541 permet l'évaluation du brouillage causé à des détecteurs passifs dans des bandes passives par des services actifs fonctionnant dans des bandes de service actif adjacentes ou voisines. On supposera que la largeur de bande occupée d'une émission, telle que définie au numéro 1.153 du RR, ne se chevaucherait pas avec la bande du service passif, et limiterait la puissance de rayonnement non désiré sur la bande passive à une valeur inférieure à 0,5% de la puissance moyenne totale de l'émission. La Recommandation UIT-R SM.1541 donne une analyse du cas le plus défavorable, dans lequel les émissions hors bande provenant du service actif sont surévaluées.

L'équation (9) donne une représentation spectrale destinée à servir de guide pour les rayonnements non désirés dans le SFS. La représentation spectrale se réfère à la largeur de bande nécessaire en terme de pourcentage. Si le gabarit est intégré pour déterminer la quantité de puissance au-delà d'une certaine portée à partir de la fréquence centrale, cela donnera une courbe telle qu'indiquée à la Fig. 2. (La Figure suppose un domaine d'intégration glissant de 400% de la largeur de bande nécessaire.) Une intégration du gabarit SFS tiré de la Recommandation UIT-R SM.1541 indique que 17% de l'énergie dans la bande est émise sur l'un ou l'autre côté de la largeur de bande nécessaire, et le problème est encore exacerbé lorsque son utilisation est couplée avec celle du gabarit du domaine des rayonnements non essentiels de l'Appendice 3 du RR, qui est plat pour toutes les bandes, conduisant à une valeur de puissance infinie sur l'intégration. Pour aider à déterminer la puissance brouilleuse dans les bandes passives, il était proposé qu'une représentation spectrale, fondée sur un filtre en cosinus surélevé, donne la courbe dans le domaine de fréquence:

$$A = [\text{sinc}(2f / B_N)]^2 / [1 - (2f / B_N)^2]^2 \quad (9)$$

où:

$$\text{sinc}(2f / B_N) = \text{sinc}(2\pi f / B_N) / (2\pi f / B_N) \quad \text{pour } 2\pi f / B_N \neq 0$$

et:

$$\text{sinc}(2f / B_N) = 1 \quad \text{pour } 2\pi f / B = 0$$

où:

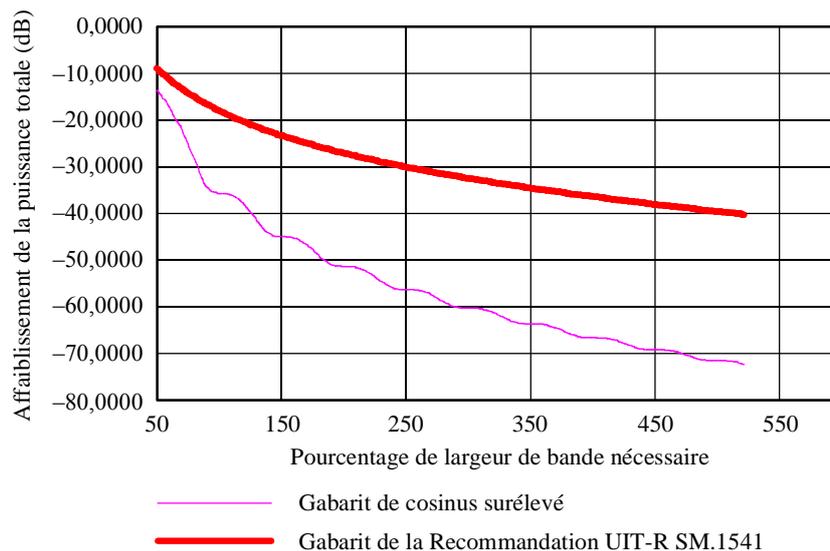
A : affaiblissement

f : fréquence, à partir du centre de la largeur de bande nécessaire

B_N : largeur de bande nécessaire.

FIGURE 2

Intégration de la représentation spectrale



1633-02

Cette représentation spectrale préliminaire des rayonnements non désirés, destinée aux études bande par bande, décrit de façon très générale la distribution de puissance moyenne typique à travers les domaines des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels dans une attribution adjacente ou voisine. Le gabarit de cosinus surélevé a été utilisé dans les calculs dans certaines des Annexes; son utilisation dans de tels cas est indiquée clairement dans le texte. L'applicabilité de cette représentation spectrale à des services et stations variés (par exemple, spatiaux ou de Terre aussi bien que la gamme de fréquences de sa validité) devrait encore faire l'objet d'études plus approfondies avant que son utilisation ne soit généralisée.

Dans les cas où le scénario n'est pas statique, et où l'analyse statique du cas le plus défavorable montre un risque de brouillage, une détermination de la distribution statistique des événements de brouillage sera nécessaire. Cela peut être effectué en procédant à une analyse dynamique qui prendra en compte les caractéristiques du scénario qui se modifient en fonction du temps. Les étapes à suivre sont les suivantes:

Etape 1: Lorsque la puissance prédite par l'analyse statique dépasse le seuil de brouillage, il y a un risque de brouillage dans le cas le plus défavorable au sens statique. Une simulation dynamique devrait être effectuée dans les cas où le scénario varie avec le temps pour déterminer la distribution statistique du brouillage. Une simulation dynamique pourrait montrer que l'occurrence du brouillage est insignifiante au sens de la Recommandation UIT-R SA.1029 ou de la Recommandation UIT-R RA.1513. Si tel est le cas, il n'est alors pas besoin d'autre analyse.

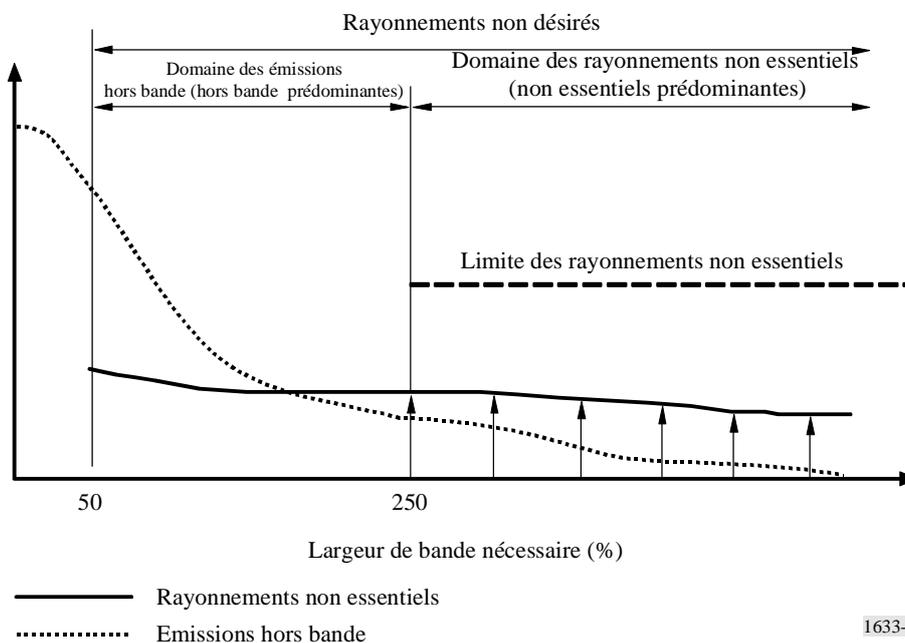
Etape 2: Si la simulation montre que le brouillage est significatif, le processus devrait être répété en utilisant des techniques de réduction des brouillages telles qu'une fréquence centrale de fonctionnement de satellite différente, plus éloignée de la bande passive, ou un filtrage des rayonnements du satellite, et en répétant les calculs jusqu'à ce que la puissance partielle de brouillage au système du service passif soit inférieure à la protection exigée. Cette étape pourrait aussi inclure la modification d'autres paramètres du satellite.

2 Affinage possible du calcul de puissance du brouillage dans le cas de rayonnements non désirés venant des systèmes de service fixe qui peuvent tomber dans les bandes SETS

Dans les cas où le niveau des rayonnements non désirés venant des systèmes de service fixe à la bordure du domaine des émissions hors bande (déduit de la Recommandation UIT-R SM.1541) est significativement au-dessous de la limite pour le domaine des rayonnements non essentiels donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 ou dans l'Appendice 3 du RR, l'évaluation de la puissance brouilleuse tombant dans la bande SETS calculée en utilisant les limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 ou l'Appendice 3 du RR, va conduire à surestimer de façon significative la puissance tombant dans une largeur de bande de référence étendue (voir la Fig. 3).

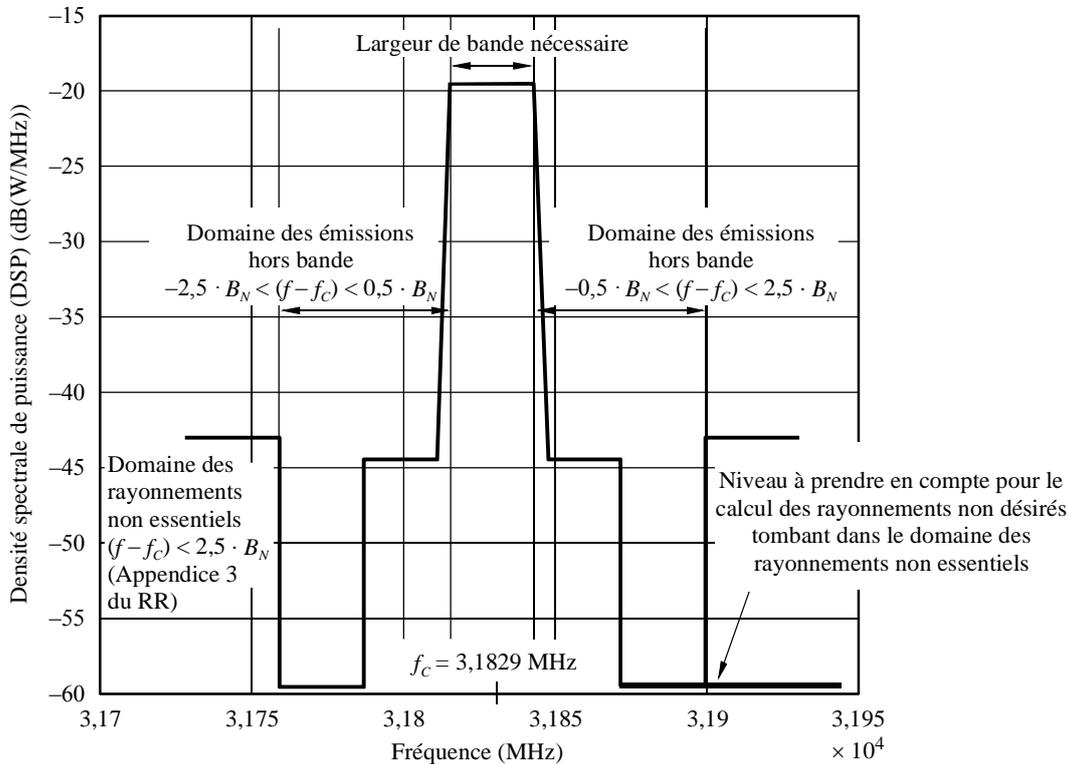
FIGURE 3

Rayonnements non essentiels réalistes contre limite des rayonnements non essentiels



Donc, le calcul de la puissance brouilleuse due aux rayonnements non désirés du système du service fixe tombant dans des largeurs de bande de référence étendues peut être affiné en supposant que le niveau de rayonnement non essentiel ne dépasse pas le niveau atteint à la bordure du domaine des émissions hors bande (voir la Fig. 4).

FIGURE 4



Gabarit de rayonnement non désiré pour système AMRF ($-5 \text{ dBW}/28 \text{ MHz}/f_c = 31\,829 \text{ MHz}$)

1633-04

3 Affaiblissement minimum de propagation Terre vers espace dû aux gaz de l'atmosphère, à utiliser pour les études de compatibilité entre services passifs et services actifs

3.1 Introduction

L'affaiblissement de propagation Terre vers espace entre une station de Terre et une station spatiale (OSG ou non OSG) résultant de l'absorption due aux gaz de l'atmosphère, y compris la vapeur d'eau, est un facteur important dans les études de compatibilité entre services passifs et services actifs. Cet affaiblissement de trajet oblique dépend de la distribution le long du trajet de paramètres météorologiques comme la température, la pression et l'humidité, et donc varie avec la localisation géographique du site, le mois de l'année, l'élévation de la station de Terre par rapport au niveau de la mer, l'angle d'élévation du trajet oblique et la fréquence de fonctionnement. La procédure de calcul de l'affaiblissement du trajet oblique est la procédure par sommation des contributions des raies d'absorption donnée à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676.

Le calcul détaillé de l'affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique peut utiliser les informations locales sur le degré hygrométrique du mois le plus sec et d'autres paramètres météorologiques ainsi que les modèles atmosphériques de la Recommandation UIT-R P.835. Lorsque ces informations ne sont pas disponibles, les résultats suivants donnent une procédure simple pour l'estimation de l'affaiblissement atmosphérique.

Les équations données ci-dessous considèrent chacune des bandes de fréquences intéressantes qui sont attribuées aux services passifs et sont présentées pour cinq zones géographiques représentatives du monde (hémisphères Nord et Sud).

3.2 Estimation de l'affaiblissement sur le trajet Terre vers espace

Pour les besoins d'une estimation simplifiée, une station à la surface de la Terre est identifiée comme étant dans une des trois zones climatiques en fonction de la latitude (en valeur absolue) de la station:

- faibles latitudes à moins de 22,5° de l'équateur;
- latitudes moyennes supérieures à 22,5°, mais inférieures à 45° par rapport à l'équateur;
- latitudes élevées de 45° ou plus par rapport à l'équateur.

Le Tableau 2 indique les paramètres climatiques pour chacune de ces zones. Noter que la densité de vapeur d'eau au niveau de la mer pour les zones de faible latitude est inférieure à celle prescrite dans la Recommandation UIT-R P.835 correspondant à la saison sèche. Les valeurs d'affaiblissement pour ces zones ont été déterminées en fonction de l'angle d'élévation du trajet réel d'émission (ou réception) à partir de la station à la surface de la Terre par rapport à la position d'une station spatiale (OSG ou non OSG). Les formules numériques de l'affaiblissement atmosphérique, qui sont une approximation des valeurs théoriques, sont données dans les sections suivantes, où:

$A_L(h, \theta)$, $A_M(h, \theta)$, $A_H(h, \theta)$: affaiblissement total de l'absorption atmosphérique (dB) pour respectivement les zones de faible latitude, latitude moyenne et latitude élevée;

h et θ : respectivement, altitude au-dessus du niveau de la mer de la station à la surface de la Terre (km) et angle d'élévation (degrés).

TABLEAU 2

Paramètres au niveau de la mer pour les zones climatiques

Zone climatique	Température (K)	Pression atmosphérique (hPa)	Densité hygrométrique (g/m ³)
Faible latitude	300,4	1 012,0	10,0
Latitude moyenne	272,7	1 018,9	3,5
Latitude élevée	257,4	1 010,8	1,23

La méthode par sommation des contributions des raies d'absorption de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.676 a été utilisée pour l'intégration. Les profils de hauteur de température, pression et densité hygrométrique tels que définis dans la Recommandation UIT-R P.835 ont été utilisés pour le calcul de l'affaiblissement. Dans la mesure où la largeur de bande de chaque bande de fréquences attribuée aux services passifs est relativement étroite, le centre de la bande été utilisé comme fréquence représentative, en supposant que l'affaiblissement est presque constant sur chaque bande. L'approximation a été effectuée pour $0 \leq h \leq 3$ km et $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Certaines des formules énumérées apparaissent dans les Recommandations UIT-R SF.1395 et UIT-R F.1404, mais sont incluses ici dans un souci d'exhaustivité.

Si le trajet du brouillage se trouve entre deux stations spatiales, l'affaiblissement de l'absorption atmosphérique devrait être estimé à 0 dB.

Bande de fréquences 1 400-1 427 MHz

$$A_L(h, \theta) = 1,59 / [1 + 0,6294 \theta + h (0,2258 + 0,1220 \theta)] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 1,89 / [1 + 0,6813 \theta + h (0,2828 + 0,1580 \theta)] \quad (1b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,09 / [1 + 0,7106 \theta + h (0,3057 + 0,1718 \theta)] \quad (1c)$$

Bande de fréquences 1 610,6-1 613,8 MHz

$$A_L(h, \theta) = 1,63 / [1 + 0,6348 \theta + h (0,2323 + 0,1250 \theta)] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 1,95 / [1 + 0,6870 \theta + h (0,2908 + 0,1621 \theta)] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,16 / [1 + 0,7172 \theta + h (0,3148 + 0,1767 \theta)] \quad (2c)$$

Bande de fréquences 2 690-2 700 MHz

$$A_L(h, \theta) = 1,78 / [1 + 0,6527 \theta + h (0,2552 + 0,1355 \theta)] \quad (3a)$$

$$A_M(h, \theta) = 2,11 / [1 + 0,7022 \theta + h (0,3123 + 0,1730 \theta)] \quad (3b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,33 / [1 + 0,7331 \theta + h (0,3371 + 0,1881 \theta)] \quad (3c)$$

Bande de fréquences de 10,6-10,7 GHz

$$A_L(h, \theta) = 3,38 / [1 + 0,8346 \theta + h (0,2690 + 0,2738 \theta) + 0,09948 h^2] \quad (4a)$$

$$A_M(h, \theta) = 3,00 / [1 + 0,7507 \theta + h (0,3983 + 0,2147 \theta)] \quad (4b)$$

$$A_H(h, \theta) = 2,97 / [1 + 0,7476 \theta + h (0,3734 + 0,2072 \theta)] \quad (4c)$$

Bande de fréquences 21,2-21,4 GHz

$$A_L(h, \theta) = 39,24 / [1 + 0,8450 \theta + 0,06450 \theta^2 - 0,002107 \theta^3 + 0,1657 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2902 + 0,3773 \theta) + h^2 (0,09362 + 0,1667 \theta) + 0,03977 h^3] \quad (5a)$$

$$A_M(h, \theta) = 17,15 / [1 + 0,8101 \theta + 0,02691 \theta^2 + h (0,2374 + 0,2727 \theta) + h^2 (0,1157 + 0,08487 \theta)] \quad (5b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,87 / [1 + 0,6239 \theta + 0,04358 \theta^2 + h (0,07017 + 0,3633 \theta) + 0,1166 h^2] \quad (5c)$$

Bande de fréquences 22,21-22,5 GHz

$$A_L(h, \theta) = 47,63 / [1 + 0,7826 \theta + 0,1060 \theta^2 - 0,009088 \theta^3 + 0,0002975 \theta^4 - 0,3991 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,1853 \times 10^{-7} \theta^6 + h (0,2959 + 0,3016 \theta) + h^2 (0,06740 + 0,1773 \theta) + 0,03795 h^3] \quad (6a)$$

$$A_M(h, \theta) = 20,26 / [1 + 0,7215 \theta + 0,05983 \theta^2 - 0,001961 \theta^3 + 0,1555 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2047 + 0,2338 \theta) + h^2 (0,1088 + 0,08897 \theta)] \quad (6b)$$

$$A_H(h, \theta) = 11,48 / [1 + 0,6065 \theta + 0,04355 \theta^2 + h (0,05653 + 0,3470 \theta) + 0,1096 h^2] \quad (6c)$$

Bande de fréquences 23,6-24,0 GHz

$$A_L(h, \theta) = 41,78 / [1 + 0,8705 \theta + 0,06699 \theta^2 - 0,002203 \theta^3 + 0,1743 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,3132 + 0,4079 \theta) + h^2 (0,09824 + 0,1906 \theta) + 0,04830 h^3] \quad (7a)$$

$$A_M(h, \theta) = 18,42 / [1 + 0,8311 \theta + 0,02870 \theta^2 + h (0,2517 + 0,2995 \theta) + h^2 (0,1330 + 0,09409 \theta)] \quad (7b)$$

$$A_H(h, \theta) = 10,73 / [1 + 0,6427 \theta + 0,04402 \theta^2 + h (0,08210 + 0,3840 \theta) + 0,1273 h^2] \quad (7c)$$

Bande de fréquences 31,3-31,5 GHz

$$A_L(h, \theta) = 19,52 / [1 + 0,9294 \theta + 0,02495 \theta^2 + h (0,3409 + 0,4368 \theta) + h^2 (0,1938 + 0,07732 \theta)] \quad (8a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,89 / [1 + 0,8124 \theta + 0,01982 \theta^2 + h (0,2738 + 0,3876 \theta) + 0,1181 h^2] \quad (8b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,70 / [1 + 0,8149 \theta + h (0,2388 + 0,2699 \theta) + 0,08830 h^2] \quad (8c)$$

Bande de fréquences 42,5-43,5 GHz

$$A_L(h, \theta) = 33,54 / [1 + 0,7690 \theta + 0,04472 \theta^2 - 0,001416 \theta^3 + 0,1072 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2675 + 0,3897 \theta) + 0,1253 h^2] \quad (9a)$$

$$A_M(h, \theta) = 26,58 / [1 + 0,6859 \theta + 0,04579 \theta^2 - 0,001451 \theta^3 + 0,1108 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2418 + 0,3068 \theta) + 0,07381 h^2] \quad (9b)$$

$$A_H(h, \theta) = 25,01 / [1 + 0,6552 \theta + 0,04585 \theta^2 - 0,001450 \theta^3 + 0,1109 \times 10^{-4} \theta^4 + h (0,2219 + 0,2734 \theta) + 0,06186 h^2] \quad (9c)$$

Bande de fréquences 50,2-50,4 GHz

$$A_L(h, \theta) = 91,86 / [1 + 0,65929 \theta + 0,055368 \theta^2 - 0,0039239 \theta^3 + 0,00011109 \theta^4 - 0,13407 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,57041 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,24505 + 0,18790 \theta + 0,0016855 \theta^2) + h^2 (0,055349 + 0,026631 \theta)] \quad (10a)$$

$$A_M(h, \theta) = 90,25 / [1 + 0,64981 \theta + 0,059840 \theta^2 - 0,0043911 \theta^3 + 0,00012737 \theta^4 - 0,15609 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,67150 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,23568 + 0,17708 \theta + 0,0022801 \theta^2) + h^2 (0,052633 + 0,033709 \theta)] \quad (10b)$$

$$A_H(h, \theta) = 93,17 / [1 + 0,65343 \theta + 0,061286 \theta^2 - 0,0045343 \theta^3 + 0,00013177 \theta^4 - 0,16120 \times 10^{-5} \theta^5 + 0,69120 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,24860 + 0,16341 \theta + 0,0027123 \theta^2) + h^2 (0,047282 + 0,035113 \theta)] \quad (10c)$$

Bande de fréquences 52,6-52,8 GHz

$$A_L(h, \theta) = 243,6 / [1 + 0,61184 \theta + 0,035912 \theta^2 - 0,0018265 \theta^3 + 0,40052 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,41231 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,15890 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,16591 + 0,16486 \theta + 0,0016442 \theta^2 - 0,26154 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,045789 + 0,022061 \theta)] \quad (11a)$$

$$A_M(h, \theta) = 243,8 / [1 + 0,63597 \theta + 0,037426 \theta^2 - 0,0019080 \theta^3 + 0,41762 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,42823 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,16431 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,17376 + 0,18234 \theta + 0,0018276 \theta^2 - 0,29487 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,053692 + 0,028670 \theta)] \quad (11b)$$

$$A_H(h, \theta) = 249,9 / [1 + 0,64303 \theta + 0,038850 \theta^2 - 0,0019901 \theta^3 + 0,43669 \times 10^{-4} \theta^4 - 0,44802 \times 10^{-6} \theta^5 + 0,17189 \times 10^{-8} \theta^6 + h (0,18620 + 0,18810 \theta + 0,0019179 \theta^2 - 0,31541 \times 10^{-4} \theta^3) + h^2 (0,052809 + 0,030444 \theta)] \quad (11c)$$

NOTE 1 – Si l'affaiblissement de propagation est réellement calculé et inclus dans chaque analyse de compatibilité où l'affaiblissement de propagation n'a pas été pris en considération, il est possible que les résultats de l'analyse de compatibilité changent légèrement. Les calculs d'affaiblissement de la propagation Terre vers espace ne sont, bien sûr, pas nécessaires entre deux stations terriennes et entre deux stations spatiales, mais le sont entre stations terriennes et spatiales. Dans ce dernier cas, l'effet de l'affaiblissement est assez faible pour des angles d'élévation importants, mais l'effet est relativement important pour des angles d'élévation faibles. Des études complémentaires seront nécessaires dans l'avenir pour le cas des faibles angles d'élévation.

4 Note sur le coefficient de réflexion

Une forme de puissance brouilleuse dans les bandes passives du SETS provient des rayonnements non désirés de la liaison descendante du SFS qui sont réfléchis vers le haut à partir de la surface de la Terre vers un détecteur proche du SETS. Pour les fréquences dans les 10 à 20 GHz, cette énergie réfléchie a une composante de variation dans le temps significative. Les réflexions par ce mode contribuent au cas le plus défavorable de brouillage qu'on puisse attendre. D'autres modes de réflexion existent aussi. Ils surviendront plus fréquemment mais à un niveau moindre. La Recommandation UIT-R SA.1449 décrit un modèle pour le coefficient de réflexion qui peut être utilisé comme base du développement d'un modèle de coefficient de réflexion applicable à ces études. Des travaux ultérieurs sont prévus au sein de l'UIT-R pour développer un modèle de dispersion bistatique des hyperfréquences pour l'évaluation des brouillages en utilisant cette approche.

Annexe 2

Analyse de compatibilité entre systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et systèmes du SRS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 452-1 492 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 1 400-1 427 MHz est attribuée uniquement à des services passifs, à titre primaire, à savoir, le SRA, le SETS (passive) et le service de recherche spatiale (passive).

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

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 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 des autres galaxies, et il intervient dans d'énormes nuages de structure complexe. Cette raie est observée à la fois en émission et en absorption, et elle est élargie et déplacée en fréquence par des effets Doppler dus à des mouvements locaux et en masse dans les structures de 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 les autres. De cette façon, nous pouvons cartographier la structure de notre galaxie, et la façon dont bouge la matière.

L'attribution 1 400-1 427 MHz est suffisamment large pour englober les émissions d'effets Doppler provenant des nuages dans notre galaxie et dans les 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'accroître notre compréhension de la structure des galaxies.

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

1.3 Critères de protection requis

Les niveaux de seuil de brouillage nuisible pour les observations radioastronomiques sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769, qui donne la liste des niveaux de rayonnements non désirés qui augmenteront 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, la limite de la puissance surfacique du seuil est -196 dB(W/m²). 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 limite de la puissance surfacique du seuil pour les brouillages gênants est -180 dB(W/m²).

Les observations par interférométrie à très grande ligne de base (VLBI, *very long baseline interferometry*), pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement écartées les unes des autres sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage. Ceci est reflété dans le niveau de la puissance surfacique du seuil pour les observations VLBI dans cette bande, -166 dB(W/m²), pour une largeur de bande de 20 kHz.

Les seuils des niveaux de brouillage nuisible pour le SRA, 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 même finalement être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut compenser en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du débit des données scientifiques. Si le niveau de brouillage, avec les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que des données scientifiques valables sont fournies aux scientifiques. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et sa capacité à fournir le service aura été perdue si des techniques de réduction des brouillages ne peuvent être appliquées.

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 de synthèse de l'Observatoire de radioastrophysique du Dominion (DRAO, *Dominion Radio Astrophysical observatory*) de Penticton (Canada), observent en permanence dans cette bande. Des radiotélescopes à une seule antenne sont utilisés pour mesurer la densité spectrale de puissance surfacique 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 de synthèse.

La plus forte résolution angulaire offerte par les télescopes de synthèse permet de cartographier la structure la plus fine des nuages d'hydrogène et des sources d'émissions continues, 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 de synthèse, qui utilisent des dispositifs multiantennes, peuvent nécessiter de une à douze durées d'exposition de 12 h pour faire une cartographie complète d'une zone stellaire. Pour faciliter la cartographie de structures de sources relativement grandes, certains radiotélescopes de synthèse, comme l'instrument DRAO, utilisent des dispositifs de relativement petites antennes. Les instruments de cette sorte ne disposent pas de l'option de suppression de lobe latéral 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 de nombreux (typiquement de 256 à 4 096) canaux de fréquences distribués sur la bande. Le nombre de canaux et leurs largeurs de bande individuelles sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre du rayonnement net du ou des nuages d'hydrogène sur 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 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 ayant leur origine à la source sont séparés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés sur les gammes de fréquences y compris les rayonnements de raies présentant un intérêt (les spectres de raies), et donc à une fréquence qui est la reproduction des rayonnements des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (le spectre de référence). En soustrayant le spectre de référence du spectre de raie, les contributions de bruit brouilleuses et les autres produits polluant peuvent être retirés 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 une contribution très significative par les lobes latéraux de l'antenne. Ce «rayonnement parasite» crée une distorsion du spectre et réduit les détails de la carte. Retirer cela des données implique des mesures à grande échelle sur la totalité du faisceau de l'antenne (dans la mesure du possible), et l'estimation de 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 les zones 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 unique, chaque observation de point de grille est une indication de la puissance totale (en cas d'observation du continuum) ou du spectre d'émission (en cas d'observation de raies spectrales) venant 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 de synthèse, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Les observations VLBI se font par conversion des signaux en bande de base; on les numérise sans démodulation, et on les enregistre sur une bande magnétique ou un autre support avec des signaux de synchronisation temporelle précis. Les données sont alors transmises à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein effet des brouillages peut n'être pas découvert avant la fin de la période d'observation et le traitement des données.

2 SRS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 452-1 492 MHz est attribuée au SRS.

2.2 Application

Diffusion d'émission audio uniquement.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Non évalués.

2.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques suivantes ont été notifiées comme étant les valeurs maximales attendues et la largeur de bande nécessaire typique sur la base des caractéristiques des systèmes sonores du SRS déjà mis en oeuvre ou les plus susceptibles de l'être. De plus, la présente Recommandation propose des valeurs types pour les gains d'antenne.

TABLEAU 3

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

NOTE 1 – Les résultats de cette Annexe sont limités aux systèmes OSG.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

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 d'émission hors bande utilisé pour le calcul est décrit au § 4.3.1.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Voir le § 4.3.

4.3 Valeurs obtenues

On notera que les paragraphes suivants ne couvrent que le cas des systèmes OSG.

4.3.1 Observations de raies spectrales

Sur la base de la largeur de bande nécessaire donnée au Tableau 3, et de la séparation des bandes attribuées au SRS et aux services passifs, il apparaît que, pour l'attribution au SRS, la limite des rayonnements non essentiels s'applique: $43 + 10 \log P$ ou 60 dBc, selon la valeur qui est la moins contraignante, où P est la puissance moyenne (W) fournie à la ligne d'antenne d'émission. Ceci est détaillé dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

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

Le niveau escompté de rayonnements non désirés est déduit des paramètres du Tableau 5.

TABLEAU 5

Attribution au SRS (MHz)	Largeur de bande nécessaire (MHz)	Puissance surfacique maximum dans la bande escomptée (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	Gain d'antenne satellite (dBi)	Puissance de sortie moyenne totale de l'émetteur (dBW)	Affaiblissement requis dans l'attribution aux services passifs (dBc)	Niveaux escomptés de rayonnements maximum non désirés (dB(W/(m ² · 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 requis dans le cas de la limite de rayonnements non essentiels.

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

On a supposé que les gains de l'antenne satellite aux fréquences de l'attribution aux services passifs sont les mêmes qu'aux fréquences de fonctionnement de l'attribution aux services 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 aux services passifs 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 (typiquement) 20 kHz, la puissance surfacique de seuil 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:

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

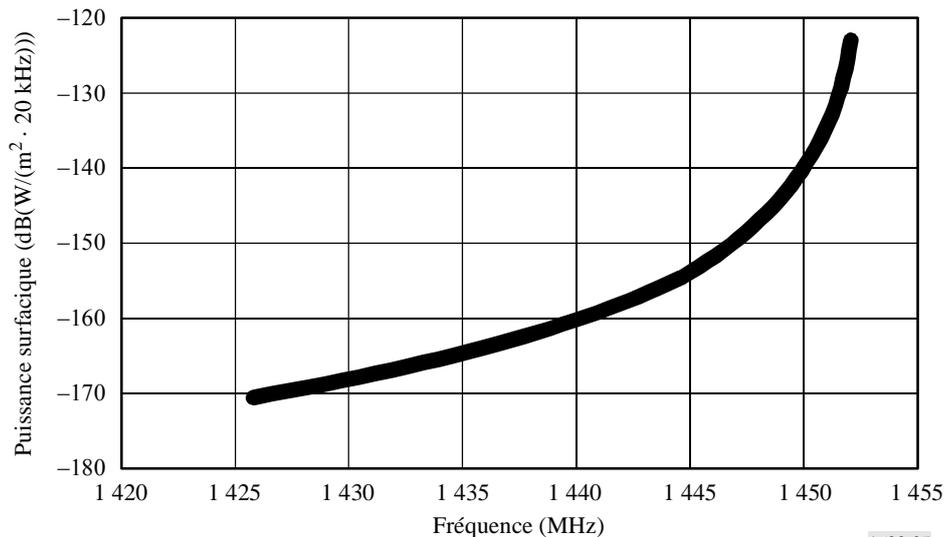
Cela signifie qu'à la fin du domaine des émissions hors bande, la discordance entre les critères de protection et la limite du rayonnement non essentiel est de l'ordre de 40 dB. Dans la mesure où la fin du domaine des émissions hors bande survient à 1 448,928 MHz et où la bande attribuée au SRA commence à 1 427 MHz (plus de 10 fois la largeur de bande nécessaire), il est vraisemblable qu'au début de ladite bande, la discordance entre le niveau des rayonnements non essentiels et le critère de protection sera sensiblement inférieure.

En particulier, si nous prenons pour hypothèse que la diminution du signal, au sein du domaine des rayonnements non essentiels, va suivre le nouveau gabarit hors bande tel que développé pour le système SRS (Recommandation UIT-R SM.1541), l'affaiblissement sera alors donné par:

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

FIGURE 5

Niveau de puissance surfacique intégrée sur 20 kHz en fonction de la fréquence
Système numérique A



1633-05

Dans un tel cas, la discordance à la bordure de l'attribution au SRA est d'environ 25 dB (environ 20 dB dans le cas du système numérique DS). Ce brouillage subsistant devrait être évité par des techniques de réduction des brouillages supplémentaires (isolement géographique et filtrage).

4.3.2 Observations VLBI

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

Selon le calcul effectué dans le § 4.3.1, il est vraisemblable que les critères de protection VLBI seront satisfaits.

4.3.3 Observations du continuum

Pour faire des observations du continuum à une seule antenne, la totalité de la largeur de bande de 27 MHz est utilisée, auquel cas la limite du seuil de puissance surfacique pour le brouillage nuisible est de $-180 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

En prenant en compte les deux systèmes donnés au Tableau 3, 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 ce système suit la même décroissance du signal que 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. Ceci signifie qu'il satisfera aux critères de protection d'observation du continuum. Cela confirme aussi qu'il satisfera aux critères de protection de l'interférométrie VLBI.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

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

5.2 SRS

Ce service suppose l'émission continue de signaux en permanence ou pendant de longs laps de temps, avec puissance et spectre constants. Des procédures 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 jusqu'à un niveau où ne soient pas causés de brouillages gênants aux observations radioastronomiques dans la bande 1 400-1 427 MHz.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Performances du lobe latéral 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 de canal du télescope.

5.3.2 SRS

Les filtres sont une façon évidente de supprimer les rayonnements non désirés, mais l'ajout de tels filtres peut affecter de façon substantielle la conception du satellite. Si on utilise une antenne active en réseau à commande de phase, des filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne activé. Cela va accroître le poids du satellite. La compensation de l'affaiblissement du filtre exigera des émetteurs plus puissants, ce qui à son tour exigera plus de puissance de transport, et ainsi de plus grands dispositifs d'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 réduire le problème de la mise en œuvre de telles solutions dans des proportions acceptables.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Les calculs présentés dans les paragraphes précédents concernent la compatibilité entre les systèmes SRS OSG fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et le SRA fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz. Des études ultérieures seront nécessaires pour traiter le cas des systèmes non OSG.

Les calculs présentés dans les paragraphes précédents montrent que les systèmes SRS satisferont aux critères de protection de l'interférométrie VLBI et des observations du continuum, comme expliqué au § 1.3. Cependant, pour satisfaire aux critères de protection de raie spectrale, il est vraisemblable que des techniques de réduction des brouillages, telles que le filtrage, devront être mises en œuvre. En prenant en compte le fait que la bande de garde existante entre les bandes attribuées au SRA et au SRS est importante par rapport à la largeur de bande nécessaire utilisée par les systèmes SRS, on s'attend à ce que les critères de protection du SRA soient techniquement réalisables en utilisant des techniques de réduction des brouillages telles que le filtrage et l'isolement géographique. On notera que l'impact économique de la mise en œuvre de telles techniques est significatif.

6.2 Conclusions

Les critères de protection pour les observations radioastronomiques dans cette bande peuvent être satisfaits pour les observations du continuum et d'interférométrie VLBI et pour les observations de raie spectrale lorsque les techniques de réduction des brouillages appropriées sont utilisées.

Annexe 3

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes de service de radiolocalisation fonctionnant dans la bande 1 350-1 400 MHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

Cette Annexe présente une étude bande par bande entre le service de radiolocalisation attribué dans la bande 1 350-1 400 MHz adjacente à la bande passive de 1 400-1 427 MHz attribuée au SETS (passive). On notera que conformément au numéro 5.340 du RR, toutes les émissions sont interdites dans la bande 1 400-1 427 MHz. Les attributions sont indiquées au Tableau 6.

TABLEAU 6

Attributions dans les bandes adjacentes

Service dans les bandes attribuées inférieures	Bande passive	Service dans les bandes attribuées supérieures
1 350-1 400 MHz	1 400-1 427 MHz	1 427-1 429 MHz
FIXE (Région 1) MOBILE (Région 1) RADIOLOCALISATION (toutes) 5.399	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340	EXPLOITATION SPATIALE (Terre vers espace) FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique

1.2 Application

La NASA/JPL est en train de développer un instrument de mesure de l'humidité du sol (la mission HYDROS), qui collectera des mesures dans la totalité de la bande hyperfréquence passive à considérer (1 400-1 427 MHz). L'Agence spatiale européenne (ESA, *European Space Agency*) développe un instrument distinct (la mission SMOS), utilisant une approche technologique différente, pour la mesure de l'humidité des sols et de la salinité des océans. HYDROS et SMOS sont des missions complémentaires, toutes deux requérant des mesures radiométriques de haute précision sur le monde entier et en temps continu. Les fréquences proches de 1 400 MHz sont idéales pour mesurer l'humidité du sol, et aussi pour mesurer la salinité de la surface de la mer et la biomasse végétale. L'humidité du sol est une variable clé du cycle hydrologique avec une influence significative sur l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement. Dans la zone vadose, l'humidité du sol gouverne le taux d'absorption de l'eau par la végétation. La salinité de la surface de la mer a une influence sur la circulation thermohaline profonde et sur le transport de chaleur méridional. Les variations de salinité influencent la dynamique de la proche surface des océans tropicaux. Aujourd'hui, il n'y a pas de capacités directes de mesure de l'humidité des sols et de la salinité de la surface de la mer au niveau mondial, de sorte que la protection de cette bande passive est essentielle.

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.
Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Il y a deux critères pour cette bande. Il y a tout d'abord un seuil de puissance de -171 dBW à 27 MHz. C'est un niveau de brouillage maximum pour toutes sources.

Il y a ensuite une limite de fréquence d'occurrence sur le seuil à ne pas dépasser. Le taux de perte de cellules de mesure due au dépassement du seuil ne doit pas excéder 5% dans les cas où les événements de brouillage sont aléatoires, et de 1% lorsque les événements de brouillage sont systématiques. Dans la mesure où le service de radiolocalisation n'est pas aléatoire (sites fixes et en fonctionnement à 100% du temps), le critère de 1% s'applique.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

TABLEAU 7
Caractéristiques du SETS

Paramètre	SMOS	HYDROS
Gain maximum d'antenne SETS (dBi)	9	35
Altitude SETS (km)	757	670
Ouverture d'antenne SETS à -3 dB (degrés)	71,6	2,6
Direction de pointage SETS (degrés)	25 hors nadir (fixe)	40 hors nadir (rotation à 6 tr/min)
Largeur de couloir (km)	620	45

FIGURE 6
Diagramme d'antenne SMOS

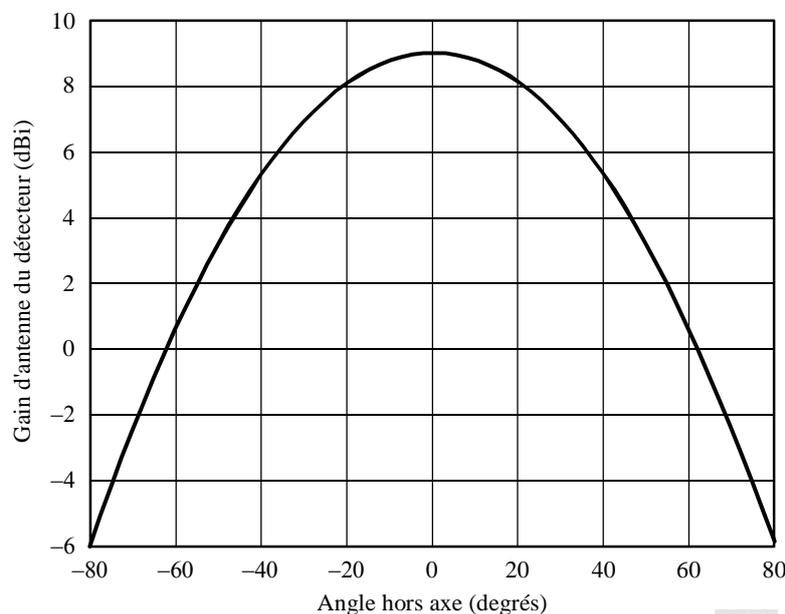
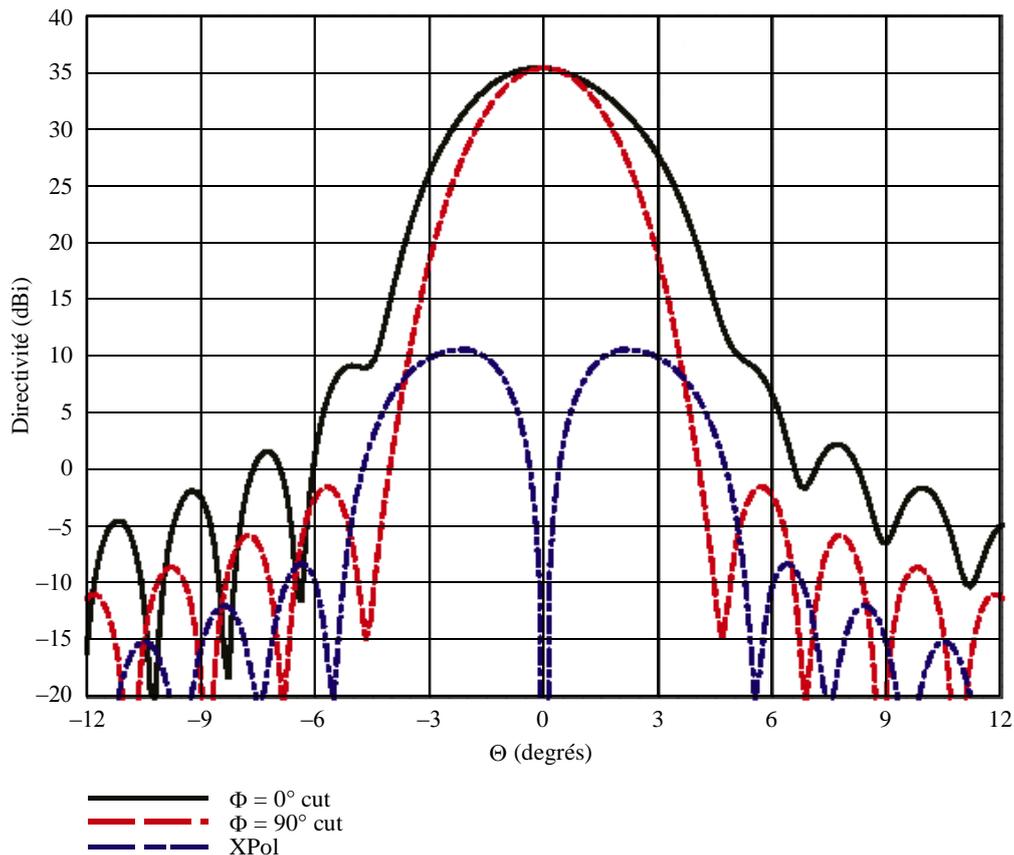


FIGURE 7

Diagramme d'antenne HYDROS



$F = 1,414$ GHz, $R[D = 6, H = 6, F = 3,6]$ m, $CH[R = 0,25, r = 0,075, s = 0,15]$

1633-07

2 Service de radiolocalisation

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande du service actif est la bande 1 350-1 400 MHz attribuée au service de radiolocalisation.

2.2 Application

L'ensemble des caractéristiques de radar qui sont prises en compte dans cette analyse de compatibilité est tiré de la Recommandation UIT-R M.1463 – Caractéristiques et critères de protection des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage dans la bande de fréquences 1 215-1 400 MHz.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions et Recommandations de l'UIT-R

2.3.1 Numéro 1.153 du RR

Le RR de l'UIT définit la *largeur de bande occupée* comme suit:

«**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 supérieur de la largeur de bande occupée était à la limite supérieure ou au-dessous 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. Donc, la puissance totale de rayonnement non désiré aux fréquences de la bande SETS et au-dessus n'est pas supérieure à $P - 23$ dB.

2.3.2 Recommandation UIT-R SM.1541

L'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R SM.1541 spécifie un gabarit générique des émissions hors bande pour les radars primaires. Ceci est répété ci-dessous avec une fragmentation des relations. La variable relative F est le décalage de fréquence par rapport au centre de la bande en pourcentage de la largeur de bande à -40 dB du radar, comme illustré à la Fig. 8.

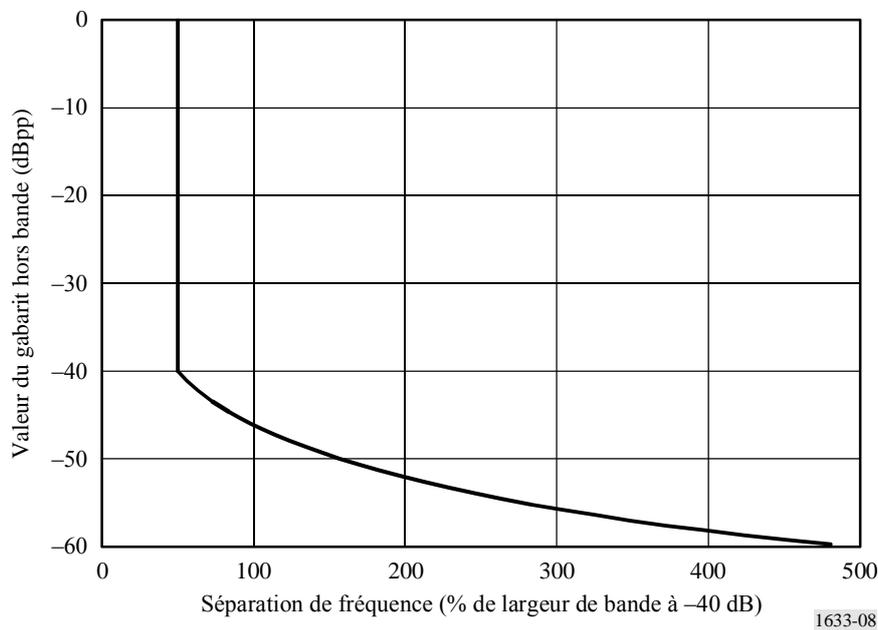
F : décalage de fréquence par rapport au centre de la bande en pourcentage de la largeur de bande à -40 dB du radar.

dBpp: décibels par rapport à la valeur maximale de la puissance de crête, mesurée avec la largeur de bande de référence au sein de la largeur de bande occupée.

Elle donne l'affaiblissement minimal pour la puissance d'émission hors bande, au sein d'une largeur de bande de référence, par rapport à la puissance de crête dans la bande.

FIGURE 8

Gabarit hors bande pour radars primaires



1633-08

2.4 Caractéristiques des émetteurs

Les caractéristiques des émetteurs sont décrites au Tableau 8. Ce Tableau est tiré de la Recommandation UIT-R M.1463.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Voir le Tableau 8.

2.6 Niveau d'émission dans la bande

Voir le Tableau 8.

TABLEAU 8

Caractéristiques des systèmes de radiorepérage dans la bande 1 215-1 400 MHz

Paramètre	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4
Puissance de crête fournie à l'antenne (dBm)	97	80	76,5	80
Durée d'impulsion (µs)	2	88,8; 58,8 ⁽¹⁾	0,4; 102,4; 409,6 ⁽²⁾	Fréquence unique de 39, fréquence double de 26 et 13 ⁽³⁾
Fréquence de répétition des impulsions (pps)	310-380 avec décalage	291,5 ou 312,5 en moyenne	200-272 longue portée 400-554 courte portée	774 en moyenne
Largeur de bande pour des impulsions à modulation de fréquence	Sans objet	770 kHz pour chaque largeur d'impulsion	2,5 MHz pour 102,4 µs 625 kHz pour 409,6 µs	Sans objet
Largeur de sous-impulsion codée en phase (µs)	Sans objet			1
Rapport de compression	Sans objet	68,3:1 et 45,2:1	256:1 pour les deux impulsions	
Largeur de bande d'émission RF (3 dB) (MHz)	0,5	1,09	2,2; 2,3; 0,58	1
Organe de sortie	Klystron	Transistor		Amplificateur à champs croisés
Type d'antenne	Réflecteur alimenté par cornet	Réflecteur à faisceaux empilés	Antenne rotative à balayage électronique	Cylindre parabolique
Polarisation d'antenne	Horizontale, verticale, circulaire gauche, circulaire droite	Verticale, circulaire	Horizontale	Verticale
Gain maximum d'antenne (dBi)	34,5 en émission 33,5 en réception	32,4-34,2 en émission, 31,7-38,9 en réception	38,9 en émission 38,2 en réception	32,5
Ouverture angulaire en élévation du faisceau de l'antenne (degrés)	3,6 pointant à 44	3,63-5,61 en émission 2,02-8,79 en réception	1,3	4,5 pointant à 40
Ouverture angulaire en azimut du faisceau de l'antenne (degrés)	1,2	1,4	3,2	3,0

TABLEAU 8 (fin)

Paramètre	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4
Caractéristiques relatives au balayage horizontal de l'antenne	Balayage mécanique de 360° à raison de 5 r.p.m.		Balayage mécanique de 360° à raison de 6 rpm pour systèmes à longue portée et à raison de 12 rpm pour systèmes à courte portée	Balayage mécanique de 360° à raison de 6, 12 ou 15 r.p.m.
Caractéristiques relatives au balayage vertical de l'antenne	Sans objet	-7° à +30° en 12,8 ou 13,7 ms	-1° à +19° en 73,5 ms	Sans objet
Largeur de bande FI du récepteur	780 kHz	0,69 MHz	4,4 à 6,4 MHz	1,2 MHz
Facteur de bruit du récepteur (dB)	2		4,7	3,5
Type de plate-forme	Fixe		Transportable	
Pourcentage de temps pendant lequel le système fonctionne (%)	100			

- (1) Le radar possède 44 paires de canaux RF dont une sélectionnée en mode normal. La forme d'onde transmise est composée d'une impulsion de 88,8 μ s pour une fréquence f_1 suivie d'une impulsion de 58,8 μ s pour une fréquence f_2 . L'écart entre f_1 et f_2 est de 82,854 MHz.
- (2) Le radar possède 20 canaux RF par pas de 8,96 MHz. Le groupe de formes d'onde transmises est composé d'une impulsion P0 de 0,4 μ s (facultative) suivie d'une impulsion modulée linéairement en fréquence de 102,4 μ s (si l'impulsion P0 de 0,4 μ s n'est pas transmise) avec des signaux à 2,5 MHz. Cette impulsion peut être suivie d'un groupe d'une à quatre impulsions modulées linéairement en fréquence de longue durée (409,6 μ s), chacune étant modulée à 625 kHz et transmise sur différentes porteuses séparées par une fréquence de 3,75 MHz. Le mode normal de fonctionnement utilise l'agilité de fréquence au moyen de laquelle les différentes fréquences de chaque groupe de formes d'onde sont sélectionnées d'une manière pseudo-aléatoire parmi l'un des 20 canaux RF possibles dans la bande 1 215-1 400 MHz.
- (3) Le radar peut utiliser une fréquence unique ou une fréquence double. Les canaux RF doubles sont séparés par une fréquence de 60 MHz. Le mode de canal unique utilise la largeur d'impulsion de 39 μ s. Dans le mode de canal double, l'impulsion de 26 μ s, transmise à la fréquence f , est suivie de l'impulsion de 13 μ s transmise à $f + 60$ MHz.

3 Seuil de compatibilité

Le seuil de brouillage de service passif de la Recommandation UIT-R SA.1029 est -171 dBW en 27 MHz pour les détecteurs fonctionnant au voisinage de 1 400 MHz.

Le brouillage peut être reçu simultanément de diverses sources appartenant à plusieurs services. La valeur qui figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau de brouillage maximum admissible pour un détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un service actif unique.

D'autres travaux sont nécessaires pour étudier l'impact des multiples services actifs fonctionnant au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

La première étape est l'analyse du cas du brouillage cocanal. A partir de cela, on trouve l'affaiblissement requis pour satisfaire aux critères de protection du SETS (passive). La seconde étape consiste à calculer l'affaiblissement lorsque la bande attribuée au SETS (passive) tombe juste en dehors de la largeur de bande à -40 dB du radar.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

4.2.1 Affaiblissement requis dans la bande passive

L'affaiblissement requis pour les quatre systèmes de radiolocalisation est donnée au Tableau 9.

TABLEAU 9
Analyse de compatibilité avec un radar

	Système 1		Système 2		Système 3		Système 4	
Puissance de crête (dBW)	67		50		46,5		50	
Gain d'antenne radar (dBi)	34,5		34,2		38,9		32,5	
Tolérance de temps de mise sous tension (dB)	-31,2		-15,7		-10,9		-15,2	
Affaiblissement en espace libre SMOS/HYDROS (dB)	152,9	154,4	152,9	154,4	152,9	154,4	152,9	154,4
Gain d'antenne du détecteur SMOS/HYDROS (dBi)	9	35	9	35	9	35	9	35
Puissance reçue cocanal (dBW)	-73,6		-75,4		-69,4		-76,6	
Seuil de brouillage (dBW)	-171		-171		-171		-171	
Affaiblissement requis (dB)	97,4	121,9	95,6	120,1	101,6	126,1	94,4	118,9

Bien sûr, ces valeurs résultent d'une situation de cas le plus défavorable. Mais même si le gain de l'antenne du radar était de 0 dBi, l'affaiblissement requis serait respectivement de 62,9, 61,4, 62,7 et 61,9 dB pour les Systèmes 1 à 4, pour SMOS et serait respectivement de 87,4, 85,9, 87,2 et 86,4 pour les Systèmes 1 à 4, pour HYDROS.

4.2.2 Calcul des rayonnements non désirés provenant des Systèmes radar 1 et 2

Une hypothèse utilisée dans cette analyse est que la largeur de bande à -40 dB du radar est localisée au sein de la bande 1 350-1 400 MHz et que la bande attribuée au SETS est localisée à une valeur de 50% de la largeur de bande à -40 dB comme décrit à la Fig. 8.

On a calculé les niveaux d'affaiblissement pour les Systèmes 1 et 2. Cela a été fait en utilisant le gabarit et les équations de l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R SM.1541. Le temps de montée de l'impulsion est nécessaire pour le calcul aussi bien de la largeur de bande nécessaire que de la largeur de bande à -40 dB.

En ce qui concerne le temps de montée de l'impulsion, la valeur de ce paramètre va varier en fonction du type de radar, et donc il n'est pas possible d'allouer une valeur unique à ce paramètre pour les radars dans la bande 1 350-1 400 MHz. Une valeur de 50 ns peut cependant être utilisée comme approximation raisonnable pour les systèmes exploités dans cette bande.

En conséquence, ce paramètre a été estimé à 50 ns pour les Systèmes 1 et 2. Pour le Système 1, il en est résulté une B_N de 3,18 MHz et une B_{-40} de 19,6 MHz. Pour le Système 2, B_N est de 2,39 MHz et B_{-40} est de 8,68 MHz.

La bande 1 400-1 427 MHz attribuée au SETS (passive) va de 50% à 187,75% sur la Fig. 7 pour le Système 1 et de 50% à 361% pour le Système 2. La puissance des rayonnements non désirés tombant dans la largeur de bande de référence de 27 MHz est $-45,8$ dBpp pour le Système 1 et $-48,7$ dBpp pour le Système 2.

4.3 Valeurs obtenues

Pour le service SMOS, les marges résultantes pour un niveau de lobe latéral de radar de 0 dBi sont respectivement 17,1 et 12,7 dB pour les Systèmes 1 et 2 (pour des gains d'antenne radar maximaux l'analyse donne 51,6 et 46,9 dB).

Pour le service HYDROS, les marges résultantes pour un niveau de lobe latéral de radar de 0 dBi sont respectivement 41,6 et 37,2 dB pour les Systèmes 1 et 2 (pour des gains d'antenne radar maximaux l'analyse donne 76,1 et 71,4 dB).

Visiblement, la différence entre les valeurs obtenues pour les deux instruments SETS (passive) peuvent s'expliquer par les gains d'antenne maximaux différents. Cependant, les empreintes d'antenne instantanées des deux détecteurs se neutralisent en ce sens que, pour le service SMOS, dans la mesure où il a une plus grande largeur de couloir d'antenne (mais un plus faible gain d'antenne), la vraisemblance d'un brouillage dans une situation donnée est plus forte.

Cette étude s'appuie sur l'hypothèse que la largeur de bande à -40 dB est entièrement comprise dans la bande attribuée au service de radiolocalisation, qui n'a pas besoin d'être valide pour tous les systèmes. Aussi, une administration a effectué des mesures détaillées sur les rayonnements pour un certain nombre de types de radars dans la bande 1 350-1 400 MHz, et a mesuré les niveaux de rayonnement à partir de ces radars sur les bandes adjacentes. Ces mesures ont montré que, conformément au RR, les radars occupent la largeur de bande nécessaire à la bordure de la bande des 1 400 MHz. On a trouvé que les niveaux de rayonnement de crête mesurés sont approximativement de -20 dB à 1 400 MHz quand ils sont mesurés dans une largeur de bande de 1 MHz, par rapport au maximum du rayonnement radar fondamental au sein de la bande. Les mêmes mesures montrent que le niveau de rayonnement à -40 dB est obtenu à des fréquences proches de 1 420 MHz, mesuré dans une largeur de bande de 1 MHz.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Du fait de l'étroitesse de la bande de 27 MHz attribuée, aucune technique de réduction des brouillages telle qu'une bande de garde effective ne peut être utilisée pour la bande attribuée au SETS (passive).

5.2 Service de radiolocalisation

Les techniques de réduction des brouillages pour les systèmes qui sont actuellement utilisés peuvent servir d'un point de vue pratique. La plupart des radars utilisés dans la gamme 1 215-1 400 MHz sont agiles en fréquence et ont de relativement petites largeurs de bande d'émission RF par rapport à la bande attribuée. Il faut explorer la possibilité d'éviter les rayonnements dans la partie supérieure du spectre, ce qui pourrait résoudre l'incompatibilité. Par exemple, il est vraisemblable que l'analyse de compatibilité donnerait un scénario positif lorsque le canal radar le plus proche par rapport à la bordure existante de la bande passive a une séparation de fréquence d'approximativement 2 à 2,5 fois la largeur de bande à -40 dB des systèmes de radiolocalisation.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

Dans la mesure où aucune technique de réduction des brouillages n'a été identifiée pour le SETS (passive) dans cette bande spécifique, l'impact potentiel de ces techniques de réduction des brouillages sera nul.

5.3.2 Service de radiolocalisation

Il faudra approfondir la faisabilité de conservation de la totalité de la largeur de bande radar à -40 dB au sein de la bande de radiolocalisation combinée soit avec une séparation de fréquence supplémentaire soit avec une limite de puissance de crête inférieure (c'est-à-dire que les radars de l'avenir pour la bande 1 350-1 400 MHz pourraient avoir des paramètres différents).

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La présente analyse de compatibilité a calculé le risque de brouillage provoqué par les systèmes de radiolocalisation sur la bande adjacente inférieure dans la bande 1 400-1 427 MHz attribuée au SETS (passive).

6.2 Conclusions

Pour le détecteur passif du système SMOS, cette analyse de compatibilité a montré une discordance de respectivement 17,1 dB et 12,7 dB pour un Système des Systèmes de radiolocalisation 1 et 2, en supposant un gain de lobe latéral d'antenne de 0 dBi. Pour le détecteur passif du système HYDROS, elle a montré une discordance de respectivement 41,6 dB et 37,2 dB pour un Système des Systèmes de radiolocalisation 1 et 2, en supposant un gain de lobe latéral d'antenne de 0 dBi.

Ces évaluations de compatibilité ont utilisé des hypothèses qui sont peu contraignantes et ne valent pas pour tous les systèmes de radiolocalisation.

Il est vraisemblable que cette analyse de compatibilité donnerait un scénario positif lorsque le canal radar le plus proche du bord existant de la bande passive a une séparation de fréquence d'environ 2 à 2,5 fois la largeur de bande à -40 dB des systèmes de radiolocalisation.

Annexe 4

Analyse de compatibilité entre le SRA dans la bande 1 400-1 427 MHz et les systèmes mobiles à satellites OSG (espace vers terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 1 400-1 427 MHz est attribuée uniquement à titre primaire à des services passifs uniquement: SRA, SETS (passive) et service de recherche spatiale (passive). La présente Annexe ne traite que du cas de la radioastronomie.

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

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 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 des autres galaxies, et il intervient dans d'énormes nuages de structure complexe. Cette raie est observée à la fois en émission et en absorption, et elle est élargie et déplacée en fréquence par des effets Doppler dus à des mouvements locaux et en masse dans les structures de 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 les autres. De cette façon, nous pouvons cartographier la structure de notre galaxie, et la façon dont bouge la matière.

L'attribution 1 400-1 427 MHz est suffisamment large pour englober les émissions d'effets Doppler provenant des nuages dans notre galaxie et dans les 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'accroître notre compréhension de la structure des galaxies.

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

1.3 Critères de protection requis

Les niveaux de seuil de brouillage nuisible pour les observations radioastronomiques sont donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769, qui donne la liste des niveaux de rayonnements non désirés qui augmenteront 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, la limite de la puissance surfacique du seuil est -196 dB(W/m²). 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 limite de la puissance surfacique du seuil pour les brouillages gênants est -180 dB(W/m²).

Les observations VLBI, pour lesquelles les signaux provenant d'antennes largement écartées les unes des autres sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage. Ceci est reflété dans le niveau de la puissance surfacique du seuil pour les observations VLBI dans cette bande, -166 dB(W/m²), pour une largeur de bande de 20 kHz.

Les seuils des niveaux de brouillage nuisible pour le SRA, 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 même finalement être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut compenser en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du débit des données scientifiques. Si le niveau de brouillage, avec les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que des données scientifiques valides sont fournies aux scientifiques. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et sa capacité à fournir le service aura été perdue si des techniques de réduction des brouillages ne peuvent être appliquées.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement, type d'observations

La bande 1400-1427 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 de synthèse 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 surfacique 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 de synthèse.

La plus forte résolution angulaire offerte par les télescopes de synthèse permet de cartographier la structure la plus fine des nuages d'hydrogène et des sources d'émissions continues, 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 de synthèse, qui utilisent des dispositifs multiantennes, peuvent nécessiter de une à douze durées d'exposition de 12 h pour faire une cartographie complète d'une zone stellaire.

Pour faciliter la cartographie de structures de sources relativement grandes, certains radiotélescopes de synthèse, comme l'instrument DRAO, utilisent des dispositifs de relativement petites antennes. Les instruments de cette sorte ne disposent pas de l'option de suppression de lobe latéral 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 de nombreux (typiquement de 256 à 4096) canaux de fréquences distribués sur la bande. Le nombre de canaux et leurs largeurs de bande individuelles sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre du rayonnement net du ou des nuages d'hydrogène sur 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 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 ayant leur origine à la source sont séparés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés sur les gammes de fréquences y compris les rayonnements de raies présentant un intérêt (les spectres de raies), et donc à une fréquence qui est la reproduction des rayonnements des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (le spectre de référence). En soustrayant le spectre de référence du spectre de raie, les contributions de bruit brouilleuses et les autres produits polluants peuvent être retirés 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 une contribution très significative par les lobes latéraux de l'antenne. Ce «rayonnement parasite» crée une distorsion du spectre et réduit les détails de la carte. Retirer cela des données implique des mesures à grande échelle sur la totalité du faisceau de l'antenne (dans la mesure du possible), et l'estimation de 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 les zones 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 unique, chaque observation de point de grille est une indication de la puissance totale (en cas d'observation du continuum) ou du spectre d'émission (en cas d'observation de raies spectrales)

venant 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 de synthèse, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Les observations VLBI se font par conversion des signaux en bande de base; on les numérise sans démodulation, et on les enregistre sur une bande magnétique ou un autre support avec des signaux de synchronisation temporelle précis. Les données sont alors transmises à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein effet des brouillages peut n'être pas découvert avant la fin de la période d'observation et le traitement des données.

2 Systèmes mobiles à satellites

2.1 Bande d'émission attribuée

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

2.2 Application

Service mobile par satellite.

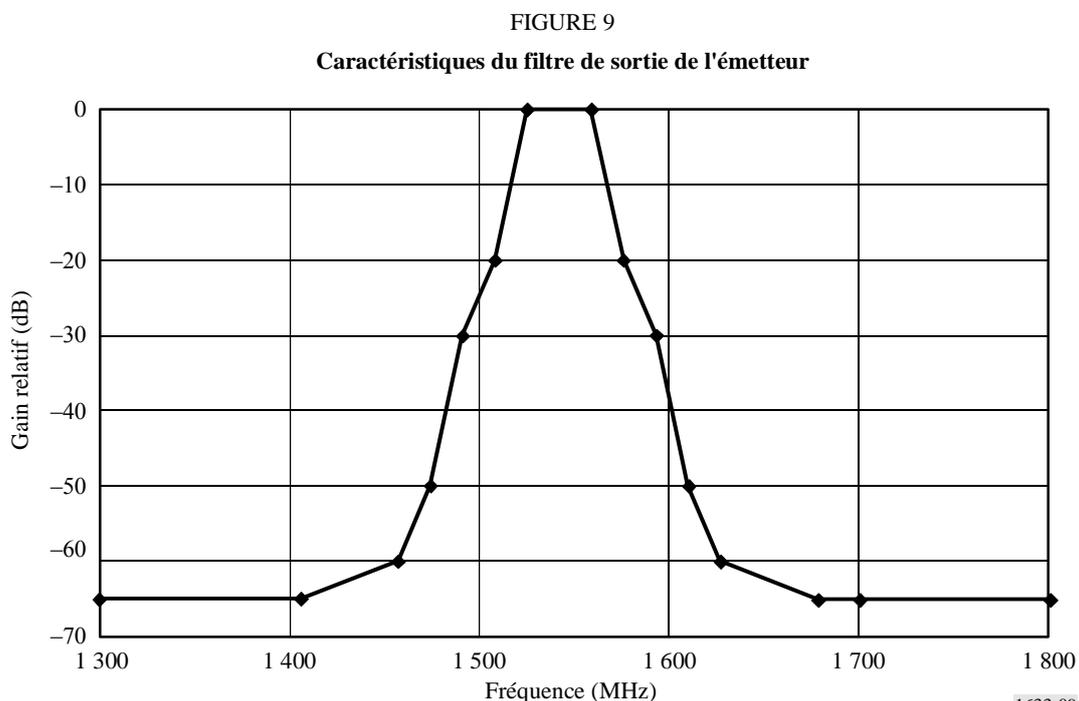
2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

L'affaiblissement requis est de $43 + 10 \log P$ dBc ou 60 dBc selon celui qui est le moins sévère, où P est la puissance de crête à l'entrée de l'antenne (W) dans 4 kHz.

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. 9.



2.5 Caractéristiques de fonctionnement

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

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.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Les paramètres DSP 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.

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 10.

TABLEAU 10

**Valeurs attendues de la DSP, 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)	DSP à la sortie du filtre (dB(W/4 kHz))	Densité de p.i.r.e. en sortie d'antenne (dB(W/4 kHz))	Puissance surfacique à la surface de la Terre (dB(W/(m ² · 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

4.3 Valeurs obtenues

La valeur est $-202 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 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 antenne unique: $-163 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 27 MHz;
- pour des observations de raies spectrales avec une antenne unique: $-195 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 20 kHz.

Sur la base des paramètres ci-dessus, on déduit les marges/déficits suivants pour un seul opérateur d'un système mobile à satellites OSG:

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

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

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

5.2 SMS

Afin d'améliorer les niveaux donnés au Tableau 10, 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-conducteur;
- les caractéristiques de modulation des porteuses individuelles;
- l'affaiblissement des produits d'intermodulation par rapport à la puissance des porteuses.

5.3 Impact potentiel

Les techniques de réduction des brouillages du § 5.2 sont réputées techniquement faisables pour les systèmes OSG.

5.3.1 SMS

Les techniques de réduction des brouillages du § 5.2 sont réputées techniquement faisables pour les systèmes OSG.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Sur la base des paramètres d'un système mobile à satellites OSG d'un opérateur et en tenant compte des facteurs de réduction des brouillages dont la liste figure au § 5.2, il est très vraisemblable que les niveaux des rayonnements non désirés provenant de ce système à satellites satisfont aux niveaux de seuil de brouillage nuisible pour les observations radioastronomiques à une seule antenne (voir le § 1.3).

6.2 Conclusions

Les critères de protection seront vraisemblablement satisfaits pour les observations du continuum, les observations VLBI et celles des raies spectrales, avec l'utilisation des mesures de réduction des brouillages appropriées.

Annexe 5

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du SRNS fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au SRA 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 SRA.

1.2 Type d'observations

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de radical oxhydryle (OH, *hydroxyl radical*). 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 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. La perte de capacité d'observation de l'une ou l'autre de ces raies peut empêcher l'étude de certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «au pas», créant un rayonnement de bande étroite. Il est légèrement élargi à cause des conditions physiques de cette concentration. Les mouvements de ces concentrations par rapport à la Terre déterminent un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, fait apparaître un spectre plus compliqué, consistant en un certain nombre de profils de raies gaussiens surimposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause d'effets Doppler différents). La largeur de l'attribution de bande 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 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. 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 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 typiquement 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 leurs tailles et structures nécessitent souvent des observations utilisant la technique VLBI.

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 de seuil de brouillage nuisible pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, pour les observations de raie spectrale à une seule antenne faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de -194 dB(W/m²). Cette bande n'est utilisée que pour les observations de raies radioélectriques et ne l'est pas pour les observations du continuum.

Pour les brouillages nuisibles aux 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 SMS et SRNS.

Les seuils de brouillage nuisible pour le SRA, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données radioastronomiques sont dégradées et peuvent même être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, il est possible d'effectuer une compensation à l'observatoire de radioastronomie en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du résultat scientifique. Si le niveau de brouillage, dans les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus la fourniture de données scientifiques valables aux savants. La station radioastronomique sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et sa capacité à fournir un service sera perdue si on ne peut pas appliquer de techniques de réduction des brouillages appropriées.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites astronomiques de nombreux pays, dans le monde entier. Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont parfois effectuées sur des cibles occasionnelles, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements non essentiels 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 d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages. Ceci se reflète dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, 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 (typiquement 256 à 4 096) canaux de fréquences distribués à travers la bande. Le nombre de canaux et leur largeur de bande individuelle sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre de leur rayonnement net à partir de la ou des sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés en gammes de fréquences incluant les émissions des raies intéressantes (les raies spectrales), et ensuite à une fréquence qui est un décalage à partir des émissions de la raie, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (les spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions au bruit non désiré et les autres produits contamineurs peuvent être retirés des données.

Les observations VLBI sont faites en ramenant les signaux à la bande de base, en les numérisant sans rectification, et en les enregistrant sur bande magnétique ou autre moyen de stockage, avec un marquage temporel précis. Les données sont alors portées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein impact des brouillages peut n'être connu que lorsque la période d'observation est terminée et que les données ont été traitées.

2 SRNS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 559-1 610 MHz est attribuée au SRNS pour les émissions espace vers Terre.

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 le minutage 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 SRNS non OSG et SRNS OSG. Les systèmes OSG sont d'abord 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 la recherche et le sauvetage.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Le niveaux n'ont pas été évalués au cours de la présente étude.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode utilisée pour évaluer le niveau de brouillage

Voir le § 1.3 pour les références aux Recommandations UIT-R pertinentes en ce qui concerne la méthode d'epfd pour les systèmes non OSG.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Voir le § 2.3.

4.3 Valeurs obtenues

5 Méthodes de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

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

5.2 SRNS

Deux systèmes SRNS fonctionnent dans la bande 1 559-1 610 MHz, et tous deux utilisent la modulation à étalement de spectre. Les deux systèmes ont commencé à fonctionner sans filtrage de leurs émissions, et des brouillages dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz provenant des deux systèmes ont été relevés par les stations de radioastronomie.

Les rayonnements non désirés dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz par un système qui fonctionne à de plus basses fréquences dans la bande attribuée au SRNS, ont été améliorés, à la satisfaction de la communauté des radioastronomes, en introduisant des filtres dans les satellites lancés après la détection des brouillages.

L'autre système a commencé à fonctionner dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz alors que cette attribution au SRA était encore secondaire. Afin d'améliorer la situation des brouillages dans la bande, un accord a été conclu entre l'exploitant du satellite et le Comité inter-unions pour l'attribution de fréquences à la radioastronomie et à la science spatiale (IUCAF), représentant la communauté mondiale des radioastronomes. Cet accord contient une approche graduelle pour satisfaire aux critères de protection du SRA après quelques années. Le plan des canaux a été révisé et les émissions par satellite ont été transférées sur d'autres fréquences au-dessous de la bande 1 610,6-1 613,8 MHz. Selon l'accord susmentionné, on prévoit que le filtrage dans les générations ultérieures de satellites devrait supprimer les rayonnements non désirés des systèmes dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz jusqu'aux niveaux des seuils de brouillage pour antenne unique donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Performances du lobe latéral 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 de canal du télescope.

5.3.2 SRNS

Les solutions de matériel comme les filtres peuvent être difficiles à mettre en œuvre. Dans les antennes actives, multi-éléments, les filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne. Cela va accroître le poids du satellite. Les pertes dues aux filtres vont exiger des émetteurs plus puissants, qui à leur tour vont demander 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 exiger 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.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Dans cette bande, les niveaux de seuil des brouillages gênants pour les observations radioastronomiques examinés au § 1.3 peuvent être satisfaits par le service actif pour le cas de la VLBI et de la raie spectrale à une seule antenne, lorsque des méthodes de réduction des brouillages sont prises en compte. Aucune observation du continuum à une seule antenne n'est faite dans cette bande.

6.2 Conclusions

Il est possible que des techniques de réduction des brouillages appropriées, prévues pour les systèmes de l'avenir, permettent des observations VLBI et de raies spectrales dans cette bande.

Annexe 6

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du SMS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 613,8-1 626,5 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au SRA 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 SRA dans cette bande.

1.2 Type d'observations

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH. 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 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. La perte de capacité d'observation de l'une ou l'autre de ces raies peut empêcher l'étude de certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «au pas», créant un rayonnement de bande étroite. Il est légèrement élargi à cause des conditions physiques de cette concentration. Les mouvements de ces concentrations par

rapport à la Terre déterminent un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, fait apparaître un spectre plus compliqué, consistant en un certain nombre de profils de raies gaussiens surimposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause d'effets Doppler différents). La largeur de l'attribution de bande 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 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 spatiales des composants moléculaires dans notre galaxie et dans les 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 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 typiquement 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 leurs tailles et structures nécessitent souvent des observations utilisant la technique VLBI.

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 de seuil de brouillage nuisible pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz, pour les observations de raie spectrale à une seule antenne faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de -194 dB(W/m²). Cette bande n'est utilisée que pour les observations de raies radioélectriques et ne l'est pas pour les observations du continuum.

Pour les brouillages gênants aux 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 SMS et SRNS.

Les seuils de brouillage nuisible pour le SRA, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données radioastronomiques sont dégradées et peuvent même être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, il est possible d'effectuer une compensation à l'observatoire de radioastronomie en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du résultat scientifique. Si le niveau de brouillage, dans les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la

Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus la fourniture de données scientifiques valables aux savants. La station radioastronomique sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et sa capacité à fournir un service sera perdue si on ne peut pas appliquer de techniques de réduction des brouillages appropriés.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites astronomiques de nombreux pays, dans le monde entier. Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont parfois effectuées sur des cibles occasionnelles, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements non essentiels 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 d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages. Ceci se reflète dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $-166 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, 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 (typiquement 256 à 4 096) canaux de fréquences distribués à travers la bande. Le nombre de canaux et leur largeur de bande individuelle sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre de leur rayonnement net à partir de la ou des sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés en gammes de fréquences incluant les émissions des raies intéressantes (les raies spectrales), et ensuite à une fréquence qui est un décalage à partir des émissions de la raie, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (les spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions au bruit non désiré et les autres produits contaminateurs peuvent être retirés des données.

Les observations VLBI sont faites en ramenant les signaux à la bande de base, en les numérisant sans rectification, et en les enregistrant sur bande magnétique ou autre moyen de stockage, avec un marquage temporel précis. Les données sont alors portées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein impact des brouillages peut n'être connu que lorsque la période d'observation est terminée et que les données ont été traitées.

2 SMS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande 1 613,8-1 626,5 MHz a été attribuée au SMS (espace vers Terre) à titre secondaire, pour le monde entier, à la CAMR-92. La CAMR-92 a également pris les décisions suivantes en ce qui concerne le SRA dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz:

- a) un relèvement de statut secondaire à statut primaire de 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 SRA 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.

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 à la fois dans le sens Terre vers espace et dans 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 capable de 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.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Aucune limite réglementaire n'est imposée aux émissions hors bande dans le RR. Cependant, le RR de l'UIT dispose (numéros 5.28 à 5.31 du RR) 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 rayonnements dans la bande et 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».

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Voir au § 2.3 les références aux Recommandations UIT-R pertinentes relatives aux systèmes non OSG.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Les rayonnements non désirés en terme de la densité spectrale de puissance surfacique cumulative des émissions du satellite HIBLEO-2 dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz ont été estimés théoriquement à une gamme comprise entre $-214 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ et $-223 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ sur certains sites de radioastronomie, dans des conditions de pleine charge.

4.3 Valeurs obtenues

Un programme d'essais en collaboration, mené par HIBLEO-2 et l'observatoire national américain de radioastronomie (NRAO, *United States National Radio Astronomy observatory*), a mesuré en 1998 des valeurs de puissance surfacique allant de -220 à $-240 \text{ dB(W/(m}^2\text{/Hz))}$ sur ces sites. Ces valeurs se réfèrent à ce qu'on appelle des canaux vocaux qui sont activés lorsque survient une

communication. De plus, on a trouvé que le système HIBLEO-2 rayonne à tout moment des signaux de radiodiffusion. Le spectre des canaux de radiodiffusion montrait 9 à 10 crêtes étroites (de moins de 40 kHz de large) au sein de la bande attribuée à la radioastronomie. Les valeurs de crête de la densité spectrale de puissance surfacique spécifique apparaissaient en moyenne à -227 dB ($W/(m^2/Hz)$) 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 adaptés à la poursuite des satellites; les largeurs de bande disponibles des récepteurs sont différentes de 20 kHz, etc.), il était difficile d'estimer la densité spectrale de puissance surfacique qui en résulterait dans les conditions de la Recommandation UIT-R RA.769, qui spécifie un niveau de brouillage nuisible de -238 dB($W/(m^2/Hz)$).

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

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.

Il n'y a pas dans le RR de dispositions spécifiques pour de tels accords de coordination entre le SRA et les services actifs. Cependant, des dispositions générales pour la coordination et la consultation se trouvent à l'Article 9 du RR.

Les accords de coordination ne peuvent être conclus qu'avec l'assentiment mutuel explicite des deux parties en cause, c'est-à-dire en principe, l'exploitant de 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 praticable que lorsque l'empreinte d'émission du satellite est plus petite que les dimensions géographiques du pays où la coordination est recherchée et que la visibilité de la station spatiale émettrice par une station de radioastronomie ne s'étend 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 dans plus d'un pays se trouvent dans l'empreinte ou la visibilité d'un même satellite.

En général, les conditions de tels arrangements ne sont pas immuables dans le temps et doivent être révisées en tant que de besoin, ce qui nécessite de 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 obtenus entre les exploitants du système HIBLEO-2 et diverses parties de la communauté de la radioastronomie. L'élément commun de ces accords est que les rayonnements agrégés du système HIBLEO-2 satisferont aux niveaux de seuil donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour les observations à antenne unique dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz faites aux observatoires concernés pour une durée quotidienne variant de 4 à 8 h. Certains sites de radioastronomie ont été d'accord pour notifier à l'avance leurs intentions de faire des observations dans cette bande.

5.2 SMS

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 § 5.1).

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

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 un impact négatif 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. L'impact net d'un accord de coordination sur la capacité de fonctionnement d'un observatoire ne devrait pas le rendre incapable de satisfaire aux normes de productivité courantes.

5.3.2 SMS

Les solutions de matériel comme les filtres peuvent être difficiles à mettre en œuvre. Dans les antennes actives, multi-éléments, les filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne. Cela va accroître le poids du satellite. Les pertes dues aux filtres vont exiger des émetteurs plus puissants, qui à leur tour vont demander 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 exiger 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.

On doit noter cependant que, conformément à l'accord de coordination signé entre l'exploitant du système à satellites HIBLEO-2 et la communauté européenne de radioastronomie, le niveau agrégé de puissance surfacique 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 la mise en œuvre de techniques de réduction des brouillages adéquates est attendue avant cette date.

Cependant, si le réapprovisionnement en satellites se fait après le 1^{er} janvier 2006, il sera difficile d'utiliser un filtrage amélioré sur les satellites toujours en orbite ayant un filtrage inadéquat, et la mise en œuvre d'autres techniques de réduction des brouillages pourrait avoir un impact économique négatif.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Les questions de réduction des brouillages ont été traitées par la conclusion d'accords entre les exploitants du système HIBLEO-2 et divers exploitants de services de radioastronomie. En utilisant de telles techniques de réduction des brouillages, il devrait être possible de satisfaire aux critères de protection pour les observations de raies spectrales, comme décrit au § 1.3, et pour les observations VLBI. Aucune observation à antenne unique du continuum n'est faite dans cette bande.

6.2 Conclusions

Des techniques de réduction des brouillages devrait rendre possible des observations VLBI et de raies spectrales efficaces dans cette bande.

Annexe 7

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et les systèmes du SMS OSG (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 525-1 559 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est attribuée au SRA 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 SRA dans cette bande.

1.2 Type d'observations

La bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée pour les observations de raies spectrales de OH. 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 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. La perte de capacité d'observation de l'une ou l'autre de ces raies peut empêcher l'étude de certaines classes de phénomènes physiques.

Ces raies OH sont produites par un processus cohérent, dans lequel une concentration de radicaux OH rayonne «au pas», créant un rayonnement de bande étroite. Il est légèrement élargi à cause des conditions physiques de cette concentration. Les mouvements de ces concentrations par rapport à la Terre déterminent un effet Doppler sur l'émission de la raie. La présence de plusieurs concentrations dans la source, qui se déplacent à des vitesses différentes, fait apparaître un spectre plus compliqué, consistant en un certain nombre de profils de raies gaussiens surimposés de différentes largeurs et amplitudes, et de fréquences légèrement différentes (à cause d'effets Doppler différents). La largeur de l'attribution de bande 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 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. 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 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 4096) 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 typiquement 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 leurs tailles et structures nécessitent souvent des observations utilisant la technique VLBI.

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 de seuil de brouillage nuisible pour les bandes primaires de radioastronomie. Pour les observations de raies spectrales à une seule antenne faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 20 kHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de -194 dB(W/m²).

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 nuisible pour le SRA, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données radioastronomiques sont dégradées et peuvent même être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, il est possible d'effectuer une compensation à l'observatoire de radioastronomie en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du résultat scientifique. Si le niveau de brouillage, dans les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus la fourniture de données scientifiques valables aux savants. La station radioastronomique sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et sa capacité à fournir un service sera perdue si on ne peut pas appliquer de techniques de réduction des brouillages appropriées.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites astronomiques de nombreux pays, dans le monde entier. Les observations dans la bande des 1 612 MHz sont parfois effectuées sur des cibles occasionnelles, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements non essentiels 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 d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages. Ceci se reflète dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, -166 dB(W/m²) 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 (typiquement 256 à 4 096) canaux de fréquences distribués à travers la bande. Le nombre de canaux et leur largeur de bande individuelle sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre de leur rayonnement net à partir de la ou des sources dans le faisceau de l'antenne.

En général, les observations sont faites de façon différentielle; les spectres sont enregistrés en gammes de fréquences incluant les émissions des raies intéressantes (les raies spectrales), et ensuite à une fréquence qui est un décalage à partir des émissions de la raie, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (les spectres de référence). En soustrayant les spectres de référence des spectres de raies, les contributions au bruit non désiré et les autres produits contaminants peuvent être retirés des données.

Les observations VLBI sont faites en ramenant les signaux à la bande de base, en les numérisant sans rectification, et en les enregistrant sur bande magnétique ou autre moyen de stockage, avec un marquage temporel précis. Les données sont alors portées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein impact des brouillages peut n'être connu que lorsque la période d'observation est terminée et que les données ont été traitées.

2 SMS

2.1 Bande d'émission attribuée

1 525-1 559 MHz (espace vers Terre).

2.2 Application

SMS.

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 (W) dans une largeur de bande de 4 kHz.

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. 10.

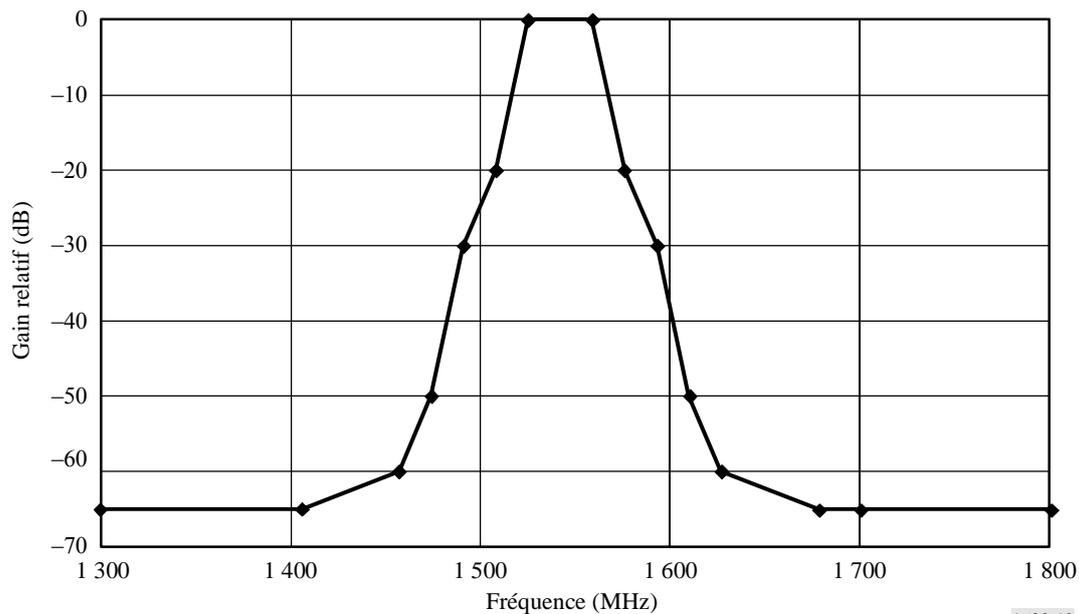
2.5 Caractéristiques de fonctionnement

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

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.

FIGURE 10
Caractéristiques de sortie du filtre d'émission



1633-10

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

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.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Sur la base des performances attendues du filtre de la bande L 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 11.

4.3 Valeurs obtenues

La valeur obtenue est de $-192 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de 4 kHz.

En traduisant ces valeurs pour des observations de raies spectrales à antenne unique, on obtient une valeur de puissance surfacique de $-185 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 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 pour les observations de raies spectrales à antenne unique.

TABLEAU 11

Valeurs attendues de la DSP, de la densité de p.i.r.e. et de la puissance surfacique à la surface de la Terre du satellite Inmarsat-4 dans la bande de fréquences 1 525-1 559 MHz

Fréquence (MHz)	DSP à la sortie du filtre (dB(W/4 kHz))	Densité de p.i.r.e. en sortie d'antenne (dB(W/4 kHz))	Puissance surfacique à la surface de la Terre (dB(W/(m ² · 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

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

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

5.2 SMS

Pour améliorer les niveaux donnés au Tableau 11, les techniques de réduction des brouillages suivantes devraient être prises en considération lors de la conception de nouvelles stations spatiales :

- 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 semiconducteur;
- les caractéristiques de modulation des porteuses individuelles;
- l'affaiblissement des produits d'intermodulation par rapport à la puissance des porteuses.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Sur la base de l'analyse du § 4, et de la nature des techniques de réduction des brouillages dont la liste figure au § 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'étendue 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.

5.3.2 SMS

Les techniques de réduction des brouillages du § 5.2 sont réputées techniquement faisables pour les systèmes OSG.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Sur la base des paramètres d'un système mobile à satellites OSG d'un opérateur et en tenant compte des facteurs de réduction des brouillages dont la liste figure au § 5.2, il est très vraisemblable que les niveaux des rayonnements non désirés provenant de ce système à satellites satisfont aux niveaux de seuil de brouillage nuisible pour les observations radioastronomiques à une seule antenne (voir le § 1.3). Aucune observation à antenne unique du continuum n'est effectuée dans cette bande.

6.2 Conclusions

Les critères de protection sont satisfaits pour le cas d'observation de raies spectrales avec une antenne unique et pour les observations VLBI.

Annexe 8

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SRA (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 690-2 700 MHz et les systèmes du SRS et du SFS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 2 655-2 690 MHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 2 690-2 700 MHz a été attribuée à titre primaire aux SRA, SETS (passive) et de recherche spatiale (passive).

Le numéro 5.340 du RR dispose que, dans cette bande, «toutes les émissions sont interdites».

1.2 Type d'observations

Cette bande est principalement intéressante pour l'étude des émissions du continuum des sources radioélectriques.

Une considération générale pour l'étude des émissions du continuum des sources radioélectriques est l'exigence d'observations échantillonnées de ces sources à travers une très large gamme de fréquences. Les observations à des fréquences très variées aident à définir la forme des spectres d'émission de ces sources, ce qui donne ensuite des informations sur les paramètres physiques des sources de rayonnement comme les densités, les températures et les champs magnétiques, ainsi qu'également sur leurs durées de vie. La connaissance de ces paramètres physiques est essentielle pour notre compréhension des processus physiques qui produisent des rayonnements radioélectriques. De nombreuses radiosources extragalactiques montrent une «rupture» dans leur spectre non thermique dans la région comprise entre 1 et 3 GHz et des mesures du continuum à environ 2,7 GHz sont essentielles pour définir avec précision de telles caractéristiques spectrales.

C'est une bonne bande de fréquences pour les mesures du continuum, en partie à cause 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 de telles fréquences.

Elle est aussi utile pour les études galactiques des nuages d'hydrogène ionisé et pour le 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 min 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, dans la mesure où ces longueurs d'onde ne sont pas affectées par les particules de poussière de 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 train de devenir un sujet des plus importants et même fondamentaux de l'astronomie.

Les problèmes qui peuvent être étudiés dans ces objets incluent l'état de la matière et 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 astrophysiques majeurs.

Une étude importante aux longueurs d'ondes radioélectriques est la polarisation des rayonnements qui est observée à partir des radiosources. On trouve souvent que celles-ci ont une faible polarisation linéaire, avec un angle de position qui dépend de la fréquence. Cela tient au fait que le moyen de propagation dans lequel voyagent les ondes radioélectriques pour 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.

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 de seuil de brouillage nuisible pour les bandes attribuées au SRA à titre primaire. Dans la bande 2 690-2 700 MHz, pour les observations du continuum à une seule antenne faites en utilisant la totalité de la largeur de bande de 10 MHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de $-177 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

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 d'antenne largement séparés sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage. Ceci se reflète dans le niveau du seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $(-161 \text{ dB(W/(m}^2\text{)}))$, pour une largeur de bande de 20 kHz.

Pour les 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 SFS.

Les seuils de brouillage nuisible pour le SRA, définis et calculés dans la Recommandation UIT-R RA.769, sont des critères de protection au-dessus desquels les données radioastronomiques sont dégradées et peuvent même être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, il est possible d'effectuer une compensation à l'observatoire de radioastronomie en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du résultat scientifique. Si le niveau de brouillage, dans les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne garantira plus la fourniture de données scientifiques valables aux savants. La station radioastronomique sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée et sa capacité à fournir un service sera perdue si on ne peut pas appliquer de techniques de réduction des brouillages appropriées.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande 2 690-2 700 MHz sont effectuées dans un certain nombre de sites astronomiques de nombreux pays, dans le monde entier. Les observations dans cette bande sont parfois effectuées sur des cibles occasionnelles, par exemple, sur des objets comme les comètes, dont il a été observé qu'elles produisent des rayonnements non essentiels dans cette raie. Les 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 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 ayant leur origine à la source sont séparés 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 de point de grille est 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 la largeur du faisceau de l'antenne. Lorsque des observations sont effectuées à l'aide d'un radiotélescope de synthèse, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points de grille ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Les observations VLBI sont faites en ramenant les signaux à la bande de base, en les numérisant sans rectification, et en les enregistrant sur bande magnétique ou autre moyen de stockage, avec un marquage temporel précis. Les données sont alors portées à un centre de traitement de données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein impact des brouillages peut n'être connu que lorsque la période d'observation est terminée et que les données ont été traitées.

2 Bande active

2.1 Bande d'émission attribuée

La sous-bande 2 655-2 670 MHz a été attribuée à titre primaire au SRS.

La sous-bande 2 670-2 690 MHz a été attribuée à titre primaire au SMS (Terre vers espace), au SFS (Terre vers espace) dans les Régions 2 et 3 et au SFS (espace vers Terre) dans la Région 2.

Les numéros pertinents 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.»

2.2 Application

Dans cette bande, il y a des SRS opérationnels qui desservent spécialement l'Inde. Ces services entrent dans la définition de distribution du SRS.

2.3 Niveau fondé sur des dispositions réglementaires

Des limites de puissance surfacique existent pour le SRS pour la réception communautaire et pour les systèmes SFS (voir le Tableau 21-4 du RR).

2.4 Caractéristiques des émetteurs

2.4.1 Systèmes SFS/SMS

Sur la base des caractéristiques typiques des systèmes fonctionnant dans cette bande, les systèmes SFS/SMS sont supposés utiliser une largeur de bande nécessaire de 20 MHz et fonctionner en utilisant les limites de puissance surfacique données à l'Article 21 du RR: $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ (c'est-à-dire $-100 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$).

2.4.2 Systèmes SRS

Sur la base des caractéristiques typiques des systèmes fonctionnant dans cette bande, les systèmes SFS/SMS sont supposés utiliser une largeur de bande nécessaire de 18 MHz et fonctionner en utilisant les limites de puissance surfacique données à l'Article 21 du RR: $-137 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ (c'est-à-dire $-100,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 20 \text{ MHz))}$).

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Seuls les systèmes OSG sont visés dans les calculs suivants.

2.6 Niveau d'émission dans la bande

Les niveaux de réception communautaire SRS et de puissance surfacique SFS se conforment aux niveaux du Tableau 21-4 du RR.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

4.1.1 Cas 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.

4.1.2 Cas SRS

Le SRS 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. D'un autre côté, il n'y a pas de station de radioastronomie qui utilise en permanence la bande considérée. 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 des 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 telles que l'approche par la puissance surfacique équivalente (epfd) (voir le § 1.3).

Le calcul des niveaux de rayonnements non désirés utilisant le gabarit hors bande pour les systèmes SRS qui est maintenant retenu dans la Recommandation UIT-R SM.1541 a montré que, suivant 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 d'émission dans la largeur de bande nécessaire. Donc, un nouveau gabarit hors bande a été développé pour le système SRS.

Les émissions hors bande d'une station fonctionnant dans les bandes attribuées au SRS par satellite devraient être atténuées en dessous de la densité spectrale de puissance maximum, 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) au sein de la largeur de bande nécessaire, de ce qui suit:

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

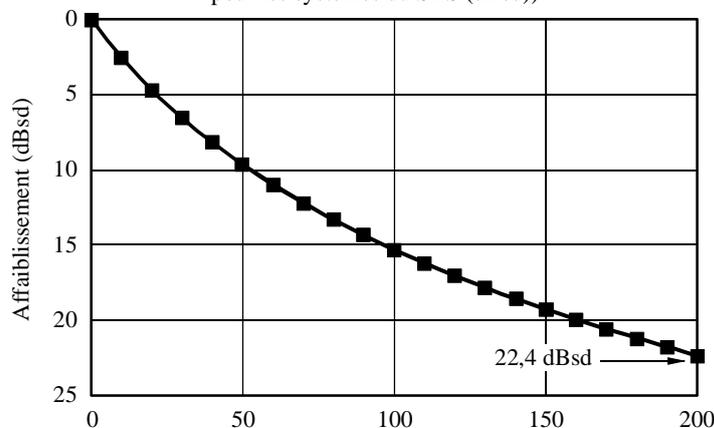
où F est le décalage de fréquence par rapport au bord de la bande totale assignée, exprimé en pourcentage de la largeur de bande nécessaire. On note que le domaine des émissions hors bande débute à la bordure de la bande totale assignée.

Le gabarit d'émission 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 de l'Appendice 3 du RR, selon ce qui donne l'affaiblissement le plus faible. 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, selon ce qui donne l'affaiblissement le plus faible, ou de façon équivalente, $19 + 10 \log P$ ou 36 dBc dans une largeur de bande de référence de 1 MHz, selon ce qui donne l'affaiblissement le plus faible.

FIGURE 11

Gabarit hors bande pour les systèmes du SRS

(Affaiblissement dans le domaine hors bande pour les systèmes du SRS (dBsd))



Séparation de fréquence, F , par rapport au bord de la bande totale assignée (pourcentage de la largeur de bande nécessaire)

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Dans les cas où l'application du numéro 1.153 du RR procure des améliorations en ce qui concerne 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 supérieur de la largeur de bande occupée était à la limite supérieure ou au-dessous de l'attribution au service de radiolocalisation, la puissance totale des rayonnements non désirés aux fréquences au-dessous de la largeur de bande attribuée ne serait pas supérieure à 0,5% de P , où P est la puissance dans la bande. Donc, la puissance totale de rayonnement non désiré aux fréquences dans la bande 50,2-50,4 GHz du SETS ne serait donc pas supérieure à $P - 23$ dB.

4.3 Valeurs obtenues

4.3.1 Cas SFS/SMS

L'application de la Recommandation UIT-R SM.1541 aux systèmes SFS/SMS utilisant une largeur de bande nécessaire conduit à une puissance surfacique intégrée sur la totalité de la bande attribuée au SRA de 108,5 dB(W/(m² · 10 MHz)). L'application du numéro 1.153 du RR conduit à une puissance surfacique totale de -123 dB(W/(m² · 10 MHz)). Cela signifie que les critères de protection pour les observations du continuum ne seront pas satisfaits.

La puissance surfacique intégrée sur 20 kHz, à la bordure de la bande attribuée au SRA, est égale à -130 dB(W/(m² · 20 kHz)), c'est-à-dire environ 30 dB au-dessus du critère de protection VLBI.

4.3.2 Cas SRS

Sur la base de la limite de puissance surfacique donnée à l'Article 21 du RR (-137 dB(W/(m² · 4 kHz))), en supposant une largeur de bande nécessaire de 18 MHz et en appliquant le gabarit décrit au § 4.1.2, pour un système SRS fonctionnant au-dessous de 2 670 MHz, la puissance surfacique maximum tombant dans une largeur de bande de référence de 10 MHz est égale à -121 dB(W/(m² · 10 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 dB(W/(m² · 10 MHz)). Cela signifie que les critères de protection pour les observations du continuum ne seront pas satisfaits.

La puissance surfacique due à un système SRS fonctionnant en dessous de 2 670 MHz et intégrée sur 20 kHz, en bordure de la bande attribuée au SRA, est égale à -146 dB(W/(m² · 10 MHz)) ce qui est environ 15 dB au-dessus du critère de protection VLBI.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

Suppression de faisceau en temps et/ou fréquence: Cette technique peut être appliquée dans certains cas lorsque le brouillage sur 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 fournissant 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, vu la localisation orbitale d'un satellite SRS/SFS spécifique, car il y aura relativement peu de satellites.

5.2 Services SFS/SRS

Ce service suppose l'émission continue de signaux en permanence ou pendant de longs laps de temps, avec puissance et spectre constants. Des procédures 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 jusqu'à un niveau où ne soient pas causés de brouillages gênants aux observations radioastronomiques dans la bande 2 690-2 700 MHz.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Performances du lobe latéral 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. Il 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 de canal 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: Lorsqu'on le considère au cas par cas, il est vraisemblable qu'il y aura peu d'impact sur les sites de radioastronomie concernés. Cela procure cependant nécessairement une protection de la radioastronomie en tant que service.

5.3.2 SFS/SRS

Les filtres sont une façon évidente de supprimer les rayonnements non désirés, mais l'ajout de tels filtres peut affecter de façon substantielle la conception du satellite. Si on utilise une antenne active en réseau à commande de phase, des filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne activé. Cela va accroître le poids du satellite. La compensation de l'affaiblissement du filtre exigera des émetteurs plus puissants, ce qui à son tour exigera plus de puissance de transport, et ainsi de plus grands dispositifs d'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 réduire le problème de la mise en œuvre de telles solutions dans des proportions acceptables.

Dans la mesure où certains systèmes à satellites multi-faisceaux sont prévus dans la gamme de fréquences concernée, les implications en coût et en poids de filtrage RF supplémentaires sont multipliées par le nombre de faisceaux dans les systèmes multifaisceaux, ou le nombre d'éléments dans le système d'antenne en 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 on doit donc les filtrer séparément. Dans un système du type réseau à commande de phase, l'étape finale de l'amplification survient sur les divers éléments du réseau, chacun d'entre eux devant être filtré séparément. De cette façon, l'impact en poids d'un filtre individuel est multiplié par le nombre de faisceaux du système, ou par le nombre d'éléments dans le réseau à commande de phase. L'affaiblissement dû à l'insertion de filtres pourrait avoir un impact sur la capacité du système.

L'isolement géographique impliquerait l'utilisation d'un processus de décroissance du diagramme d'antenne satellite pour réaliser l'isolement requis et satisfaire à un critère de partage ayant fait l'objet d'un accord sur un site particulier de réception de radioastronomie. Cette technique suppose tacitement qu'un système SFS n'aura pas une zone de couverture mondiale ou même régionale, ce qui est une hypothèse limitante en elle-même. De nombreux systèmes ont des faisceaux régionaux ou sous-régionaux pour lesquels l'isolement géographique n'est pas réalisable. D'autres systèmes à faisceau ponctuel peuvent être capables d'utiliser l'isolement géographique, cependant, ce n'est pas une solution très séduisante du point de vue du système à satellites car il pourrait en résulter que des zones de la Terre seraient indisponibles pour le service par satellite. De telles limitations de la zone du SFS pourraient avoir de sérieuses implications en termes de revenu. Cependant, cette solution a le mérite de prendre en compte les exigences réelles de protection de sites spécifiques de radioastronomie, sans qu'il soit besoin d'avoir recours aux critères du cas le plus défavorable sur chaque site de radioastronomie.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Le calcul de brouillage effectué montre que, sur la base des critères de protection examinés au § 1.3, si on n'applique pas de techniques de réduction des brouillages, il y a un risque de brouillage nuisible causé aux observations de radioastronomie dans la bande de 2 690-2 700 MHz par des services dans la bande adjacente, à un niveau qui empêcherait effectivement d'effectuer toute mesure astronomique utile dans cette bande.

Les opérateurs de satellites devront continuer à travailler en relation étroite avec la communauté de la radioastronomie pour minimiser l'impact des émissions hors bande des satellites. Dans de nombreux cas, le filtrage normal du répéteur sera suffisant pour garantir qu'il n'y aura pas d'impact

dommageable sur les bandes attribuées à la radioastronomie. Lorsque ce n'est pas le cas, l'impact d'un filtrage supplémentaire du satellite sera examiné conjointement avec d'autres techniques de réduction des brouillages telles que l'isolement du schéma géographique et l'isolement de la station radioastronomique au sol. Cela peut se faire au cas par cas en fonction de la localisation du site de radioastronomie et de la localisation orbitale.

6.2 Conclusions

Les critères de protection ne sont pas satisfaits pour les observations du continuum à antenne unique ou de raies spectrales, ou pour la VLBI.

Annexe 9

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz et les systèmes du SFS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 10,7-10,95 GHz

1 Service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 10,6-10,68 GHz est attribuée au SETS (passive), aux SRA et de recherche spatiale (passive) et aussi à des services de Terre (fixes et mobiles).

La bande 10,68-10,7 GHz a un numéro, le numéro 5.340 du RR, qui concerne les services passifs.

TABLEAU 12

Attributions des bandes adjacentes

Services dans les bandes attribuées inférieures		Bande passive	Service dans la bande attribuée supérieure
10,55-10,6 GHz	10,60-10,68 GHz	10,68-10,7 GHz	10,70-11,7 GHz
FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique Radiolocalisation	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) FIXE MOBILE sauf mobile aéronautique RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) Radiolocalisation 5.149 5.482	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340 5.483	FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre dans toutes les Régions) 5.441 5.484A (Terre vers espace en Région 1) 5.484 MOBILE sauf mobile aéronautique

1.2 Application

La bande 10,6-10,7 GHz présente un intérêt particulier pour les mesures de la pluie, de la neige, de l'état de la mer et des vents océaniques.

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Le premier critère est la puissance brouilleuse acceptable reçue par le détecteur SETS, qui est de -163 dBW dans la largeur de bande de référence de 20 MHz. C'est un niveau de brouillage maximum provenant de toutes les sources.

Le second critère est la fréquence d'occurrence de dépassement du seuil limite. Le taux de pertes de cellules de mesure dues au dépassement du seuil ne doit pas excéder 5% lorsque les événements de brouillage sont aléatoires, et 1% lorsque les événements de brouillage sont systématiques. Dans la mesure où le SFS n'est pas aléatoire, le critère de 1% s'applique.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Le Tableau 13 donne les spécifications de deux systèmes radiométriques à hyperfréquences: MEGHA-TROPIC et EOS AMSR-E.

TABLEAU 13

Spécifications préliminaires pour deux applications radiométriques à hyperfréquences

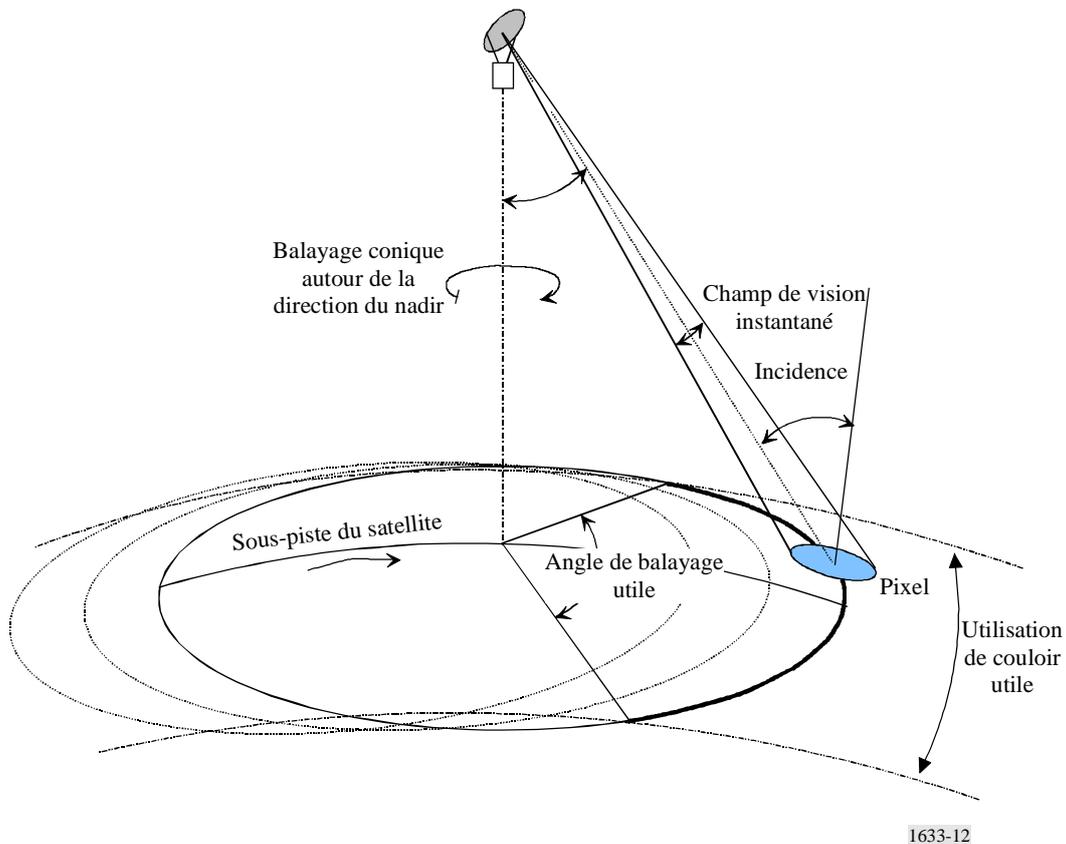
Canal 10,6-10,7 GHz	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Largeur de bande de canal (MHz)	100	100
Taille de pixel sur la piste (km)	56,7	28
Angle d'incidence i au centre de l'empreinte (degrés)	52	55
Polarisation (linéaire)	H, V	H, V
Altitude du satellite (km)	817	705
Gain d'antenne maximum (dBi)	36	37
Ouverture à mi-puissance du faisceau d'antenne $\theta_{3\text{ dB}}$ (degrés)	2,66	1,4

La taille de pixel sur le trajet est calculée à partir du contour à -3 dB du diagramme d'antenne en tenant compte de l'altitude du satellite et de l'angle d'incidence i du point de visée du faisceau.

Les détecteurs SETS ci-dessus ne sont pas des satellites de nadir, mais des détecteurs SETS ayant une configuration de balayage conique centrée autour de la direction du nadir. Il est important pour l'interprétation des mesures de surface de maintenir un angle d'incidence au sol constant tout le long des lignes de balayage. La géométrie des instruments à balayage conique est décrite à la Fig. 12. La vitesse de rotation de l'instrument (et non du satellite) est $w = 20$ tours par minute pour le satellite MEGHA-TROPIC et de 40 tours par minute pour EOS AMSR-E.

FIGURE 12

Géométrie des radiomètres passifs à hyperfréquences à balayage conique



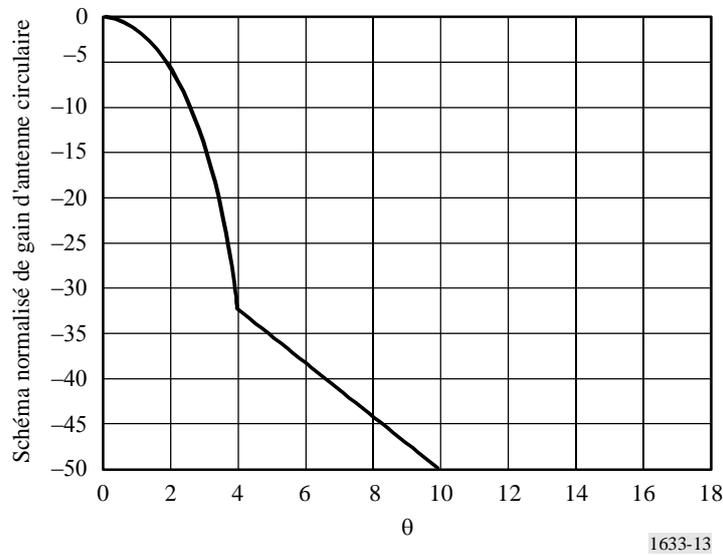
Les caractéristiques géométriques typiques de ce type d'instruments sont les suivantes (pour une altitude d'environ 850 km).

- l'angle i d'incidence au sol au centre de l'empreinte est d'environ 50° ;
- l'angle de décalage SETS avec le nadir ou angle semi-conique α avec la direction du nadir est d'environ 44° ;
- la largeur de couloir utile est d'environ 1 600 km; et
- la période de balayage est choisie de façon à assurer une pleine couverture et un temps d'intégration optimum (résolution radiométrique).

La Fig. 13 représente le diagramme d'antenne prévu pour le satellite MEGHA-TROPIC: le premier lobe latéral a un niveau d'environ -35 dB en dessous du gain maximum d'antenne, et le niveau de rayonnement du lobe arrière est d'environ -50 dB.

FIGURE 13

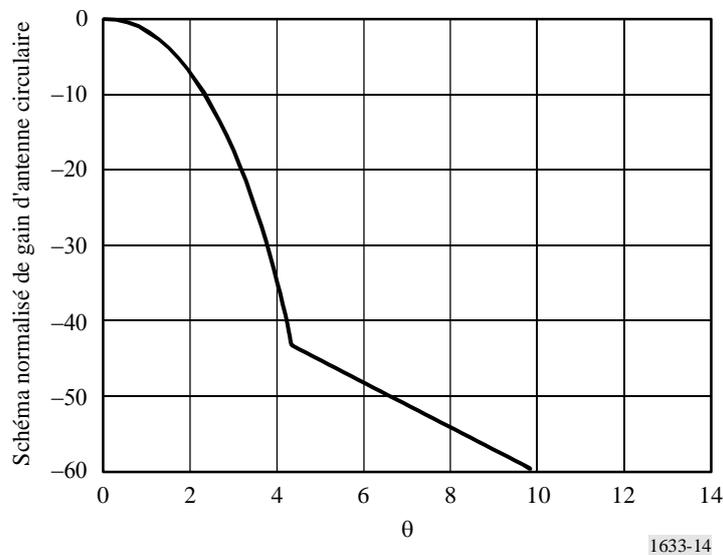
Diagramme d'antenne du radiomètre à hyperfréquences passif MEGHA-TROPIC



La Fig. 14 montre le diagramme d'antenne prévu pour le satellite EOS AMSR-E: le premier lobe latéral a un niveau d'environ -45 dB au-dessous du gain d'antenne maximum, et le niveau de rayonnement du lobe arrière est d'environ -60 dB.

FIGURE 14

Diagramme d'antenne du radiomètre à hyperfréquences passif EOS AMSR-E



2 SFS (espace vers Terre)

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande de service active est la bande 10,7-11,7 GHz attribuée au SFS (espace vers Terre).

2.2 Application

L'ensemble complet des caractéristiques d'émission qui sont prises en compte dans le présent document est tiré de la Recommandation UIT-R S.1328-3 – Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires OSG et systèmes à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS) y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS). Cette Recommandation donne quelques informations concernant les systèmes types.

Conformément au numéro 5.441 du RR, l'utilisation des bandes 10,7-10,95 GHz et 11,2-11,45 GHz par des réseaux à satellite OSG du SFS doit être conforme à l'Appendice 30B du RR.

Dans la Recommandation ci-dessus n'est mentionnée aucune information concernant des systèmes utilisant dans la Région 1 l'attribution de liaison montante 10,7-11,7 GHz (Terre vers espace) à travers le numéro 5.484 du RR (limitée aux liaisons de connexion pour le SRS). Il n'a donc pas été possible de procéder à une analyse des brouillages entre des systèmes SFS et des systèmes SETS dans la bande passive 10,6-10,7 GHz.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions et Recommandations UIT-R

2.3.1 Numéro 1.153 du RR

Le RR définit la *largeur de bande occupée* comme suit:

«**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 supérieur de la largeur de bande occupée était à la limite supérieure ou au-dessous de l'attribution au SFS, 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. Donc, la puissance totale de rayonnement non désiré aux fréquences inférieures à 10,7 GHz dont 10,6-10,7 GHz de la bande SETS, n'est pas supérieure à $P - 23$ dB.

Bien que le maintien de la largeur de bande occupée au sein de la bande attribuée soit souvent un moyen efficace de satisfaire aux critères de brouillage du SETS, il peut être difficile et coûteux de tenir cette hypothèse pour certains systèmes du SFS, car cela exige l'utilisation d'une bande de garde ou de filtres à la station spatiale.

2.3.2 Recommandation UIT-R SM.1541

Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

Les émissions dans le domaine des émissions hors bande d'une station fonctionnant dans les bandes attribuées au SFS doivent être affaiblies au-dessous de la densité spectrale de puissance maximale (dans une largeur de bande de référence de 4 kHz pour les systèmes fonctionnant au-dessus de 15 GHz, on peut utiliser une largeur de bande de référence de 1 MHz au lieu de 4 kHz), conformément à l'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R SM.1541 (voir la Fig. 15). Cette courbe est fondée sur l'expression suivante:

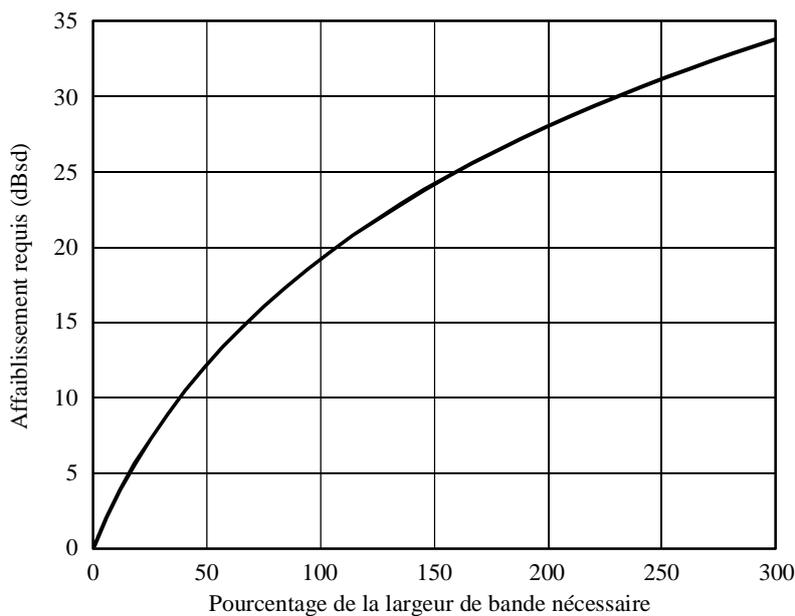
$$40 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \quad \text{dBsd}$$

où:

- F : décalage de fréquence par rapport au bord de la bande assignée totale, exprimé sous la forme d'un pourcentage de la largeur de bande nécessaire. Il est à noter que le domaine des émissions hors bande commence à chaque bord de la bande assignée totale
- dBsd: dB par rapport à la valeur maximale de la densité spectrale de puissance au sein de la largeur de bande nécessaire.

FIGURE 15

Affaiblissement requis pour les stations terriennes et spatiales du SFS conformément à l'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R SM.1541



2.4 Caractéristiques de l'émetteur

2.4.1 Réseaux à satellite OSG

TABLEAU 14

Caractéristiques du réseau GSO-VX

Paramètres	GSO-VX: réseau SFS OSG en projet
Gamme de fréquences de la liaison descendante (GHz)	10,7-10,95
Paramètres orbitaux	14 OSG avec au moins 2° de séparation
Paramètres de transmission de la porteuse	
Largeur de bande (MHz)	250: 1 largeur de bande par canal (1 canal/faisceau)
p.i.r.e./porteuse de la liaison descendante (dBW)	47
Paramètres de l'antenne émettrice du satellite	
Gain maximal (dBi)	33,5
Gain ou diagramme de lobe latéral	18 dB au-dessous de la crête (lobes arrières à 25 dB au-dessous de la crête)

2.4.2 Réseaux non OSG

TABLEAU 15

Caractéristiques techniques d'un réseau SFS non OSG, FSAT-MULTI 1-B

Paramètres orbitaux	Forme de l'orbite	Circulaire
	Altitude (km)	1 457
	Angle d'inclinaison (degrés)	55
	Nombre de satellites par plan	4
	Nombre de plans orbitaux	16
	Espacement angulaire des satellites entre plans (degrés)	90
Fréquence de la liaison descendante (GHz)	11-12	
Besoins de spectre (MHz)	1 000	
Paramètres de transmission de la porteuse	p.i.r.e./porteuse de la liaison descendante (dBW)	à 90°: 17,5 et 4,8 à 75°: 19,7 et 7,1 à 50°: 21,2 et 8,6 à 32°: 23,1 et 10,2
Gain de l'antenne du satellite à l'émission (dBi)	A 90°: 17,2 A 75°: 19,8 A 50°: 21,7 A 32°: 23	

2.4.3 Réseaux à orbite fortement elliptique (HEO, *highly elliptical orbit*)

TABLEAU 16
Caractéristiques du réseau USAKU-H1

Paramètres	USAKU-H1
Gamme de fréquences de la liaison descendante (GHz)	10,7 à 12,7
Paramètres orbitaux	Elliptique/HEO: 41 449 km (apogée)/ 4 100 km (périgée)
Besoins de spectre (MHz)	
Technique de modulation de la porteuse	MDP-4
Largeur de bande (MHz)	24
Rapport C/N_0 global (dB/Hz)	86
p.i.r.e./porteuse de la liaison descendante (dBW)	58
Paramètres d'émission de l'antenne du satellite	
Gain maximal (dBi)	38

3 Seuil de compatibilité

Le brouillage peut être reçu simultanément de plusieurs sources provenant de multiples services. Les valeurs données dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) sont le niveau maximal admissible de brouillage pour le détecteur passif. Donc, le seuil de compatibilité est de -163 dBW dans une largeur de bande de 20 MHz pendant 99% du temps, comme indiqué au § 1.3.

La présente Annexe analyse le brouillage généré par un service actif unique. Des travaux complémentaires seront donc nécessaires pour examiner l'impact de ces multiples services actifs au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

L'analyse ci-après se fonde sur quelques cas de géométrie statique qui sont assez significatifs.

Pour chaque cas, la méthode appliquée est divisée en trois étapes.

Etape 1: consiste à calculer la différence entre la puissance produite par un système SFS et le critère de brouillage du SETS lorsque les liaisons descendantes particulières du SFS sont aux mêmes fréquences que la bande du SETS (passive). Le brouillage reçu d'une porteuse est alors comparé au seuil de brouillage du détecteur. La différence calculée entre ces valeurs est la diminution des émissions hors bande qui doit être effectuée pour protéger le SETS.

Etape 2: consiste à calculer la puissance surfacique produite par le satellite particulier à la surface de la Terre, et à la comparer au niveau maximum de puissance surfacique permis par l'Article 21 du RR dans la bande 10,7-10,95 GHz pour déterminer l'accroissement maximum admissible de densité de p.i.r.e. qui se conforme exactement à cette limite. Le brouillage reçu de la porteuse fonctionnant à cette densité maximum admissible de p.i.r.e. est alors comparé aux critères de brouillage du détecteur. La différence entre les deux valeurs indique si le brouillage reçu satisfait aux critères de brouillage du SETS ou les dépasse.

Etape 3: consiste à supposer des niveaux de rayonnements non désirés sur la base de la Recommandation UIT-R SM.1541 et du numéro 1.153 du RR, comme décrit ci-dessus. Les niveaux calculés d'émissions SFS hors bande en supposant les caractéristiques de décroissance spectrale indiquées dans ces sources sont alors comparés aux critères de brouillage du SETS pour déterminer si la compatibilité est réalisée dans ces hypothèses.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

4.2.1 Calculs avec les réseaux OSG (réception du lobe arrière)

On a une situation géométrique très simple lorsque le détecteur du SETS est situé directement en dessous du satellite SFS émetteur.

La différence entre le niveau de brouillage et les critères du SETS est calculée dans le Tableau 17 lorsque les liaisons descendantes du SFS sont sur les mêmes fréquences que le détecteur du SETS (passive).

TABLEAU 17

Analyse de compatibilité avec un réseau GSO-VX

Paramètre	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Gamme de fréquences de la liaison descendante (GHz)	10,7-10,95	10,7-10,95
p.i.r.e./porteuse (dBW)	47	47
Largeur de bande (MHz)	250	250
Distance OSG-SETS (km)	34 969	35 081
Affaiblissement en espace libre (dB)	204	204
Angle de décalage paraboloïde du SETS par rapport au nadir (degrés)	44	47,5
Gain de l'antenne SETS (dBi)	-14	-23
Puissance reçue au SETS dans la largeur de bande ci-dessus (dBW)	-171	-180
Puissance correspondante reçue au SETS dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-182	-191
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-163	-163
Différence entre puissance brouilleuse et critère de protection SETS (dB)	0	0
Largeur de bande de référence pour la limite de puissance surfacique (kHz)	4	4
Puissance surfacique maximale permise par l'Article 21 du RR (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-140	-140
Puissance surfacique produite par la densité de p.i.r.e de fonctionnement à la surface de la Terre (dB(W/(m ² · 4 kHz)))	-163	-163
Augmentation admissible de la densité de p.i.r.e. (dB)	23	23
Différence entre la puissance brouilleuse et le critère de protection SETS à la p.i.r.e. maximum permise (dB)	4	0

Conformément à la Recommandation UIT-R S.1328-3¹, le système GSO-VX² propose de faire fonctionner six satellites situés aux trois positions orbitales adjacentes de 99° O, 101° O et 103° O, en supposant qu'un accord puisse être obtenu avec les autres administrations sur les modifications qu'il faut apporter au Plan de l'Appendice 30B du RR. Donc, en supposant que les satellites ayant la même position n'aient pas de zones de service qui se chevauchent et que la puissance individuelle reçue au SETS soit plus ou moins la même (c'est-à-dire -182 dBW pour une largeur de bande de 20 MHz pour MEGHA-TROPIC ou -191 dBW pour EOS AMSR-E), la puissance calculée produite par trois satellites SFS de même couverture et de même fréquence est égale à $10 \log_{10} (3 \times 10^{-18,2}) = -177$ dBW dans MEGHA-TROPIC et $10 \log_{10} (3 \times 10^{-19,1}) = -186$ dBW dans EOS AMSR-E. Dans les deux cas, le critère de brouillage du service passif est satisfait.

Dans l'hypothèse la plus défavorable où un satellite OSG du SFS, fonctionnant avec une densité de p.i.r.e. qui produirait à la surface de la Terre la puissance surfacique maximum permise par l'Article 21 du RR, pourrait être incorporé dans le Plan de l'Appendice 30B du RR, le niveau de puissance calculée au satellite MEGHA-TROPIC dépasserait les critères de brouillage du SETS de 4 dB. Par rapport au détecteur passif de plus basse altitude d'EOS AMSR-E, le critère de brouillage du SETS n'est pas dépassé.³

4.2.2 Calculs avec les réseaux non OSG

On devrait noter que ces résultats sont fondés sur des analyses simples, qui ne prennent pas en compte le pourcentage du temps pendant lequel les critères de brouillage du SETS sont dépassés. Une simulation plus complexe serait nécessaire pour savoir si un système SFS non OSG qui dépasse les critères du SETS pour la configuration géométrique particulière considérée dans ces analyses en fait autant pour la valeur de 99% du temps indiquée dans la Recommandation UIT-R SA.1029.

¹ La Recommandation UIT-R S.1328-3 consiste en une base de données des caractéristiques du SFS et des renseignements sur les bilans de liaison à utiliser pour les études de partage. Cette Recommandation a été remplacée par la Recommandation UIT-R S.1328-4, qui, avec une base de données électronique, contient des tableaux pro forma pour la soumission électronique de bilans de liaison et un outil de validation pour s'assurer de la cohérence interne des liaisons. Actuellement, seul un petit nombre de bilans de liaison validés est disponible dans la base de données de la Recommandation UIT-R S.1328-4, et aucun d'entre eux n'est applicable à la bande en question. Par conséquent, les études de partage ont été faites avec les informations disponibles sur les liaisons dans la version précédente de cette Recommandation.

² Le système GSO-VX, tel que décrit dans la Recommandation UIT-R S.1328-3, ne fournit aucune information sur la zone de service de chaque station spatiale. Il n'y a pas de fichier d'enregistrement au BR qui soit en cohérence avec GSO-VX et qui puisse fournir des détails complémentaires au sujet de ce système. Bien que la puissance surfacique produite par les satellites de ce système soit significativement inférieure à celle typiquement produite par les satellites conformes au Plan de l'Appendice 30B du RR, le BR n'est parvenu à aucune conclusion sur ce système et on ne sait pas bien s'il pourrait être notifié avec succès comme il est décrit.

³ La densité de p.i.r.e. nécessaire pour atteindre les limites de puissance surfacique du Tableau 21-4 du RR est de 7 à 19 dB supérieure à celle des entrées d'allotissement du Plan de l'Appendice 30B du RR. Tout système de ce type avec une zone de service suffisante pour fournir un service commercial viable va vraisemblablement dépasser le critère total *C/I* de 26 dB sur de nombreux allotissements du Plan de l'Appendice 30B du RR, et il n'est pas certain qu'un tel système recevrait l'approbation de toutes les administrations touchées, qui est nécessaire pour notifier le système proposé. Cependant, ce cas le plus défavorable de brouillage a été présenté afin d'être cohérent avec la méthode utilisée dans la présente Recommandation.

4.2.2.1 Cas 1 – réseaux non OSG (réception du lobe arrière)

Pour le cas 1, la situation géométrique est telle que le détecteur du SETS est situé directement au-dessous du satellite SFS émetteur.

La différence entre le niveau de brouillage et les critères du SETS est calculée dans le Tableau 18 lorsque les liaisons descendantes du SFS sont sur la même fréquence que les détecteurs du SETS (passive).

TABLEAU 18

Analyse de compatibilité avec FSAT-MULTI 1-B

Paramètre	MEGHA-TROPIC	EOS AMSR-E
Gamme de fréquences sur la liaison descendante (GHz)	11-12	11-12
p.i.r.e./porteuse pour un faisceau (dBW)	17,5	17,5
Largeur de bande (MHz)	41	41
Distance FSAT-SETS (km)	640	752
Affaiblissement en espace libre (dB)	169	170,5
Angle de décalage paraboloïde du SETS au nadir (degrés)	44	47,5
Gain d'antenne SETS (dBi)	-14	-23
Puissance reçue au SETS dans la largeur de bande ci-dessus (dBW)	-166	-176
Puissance reçue correspondante au SETS dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-169	-179
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-163	-163
Différence entre puissance brouilleuse et critère de protection SETS à la p.i.r.e. de fonctionnement proposée (dB)	0	0
Largeur de bande de référence pour la limite de puissance surfacique (kHz)	1 000	1 000
Puissance surfacique maximale permise par l'Article 21 du RR (dB(W/(m ² · MHz)))	-116	-116
Puissance surfacique produite par la densité de p.i.r.e. de fonctionnement à la surface de la Terre (dB(W/(m ² · MHz)))	-133	-133
Augmentation admissible de la densité de p.i.r.e. (dB)	17	17
Différence entre puissance brouilleuse et critère de protection SETS à la p.i.r.e. maximale admissible (dB)	11	1

Pour un satellite FSAT-MULTI-1B, le niveau de brouillage calculé n'excède pas le critère de brouillage du SETS. La constellation totale du réseau FSAT-MULTI-1B est composée de 64 satellites.

En supposant:

- qu'il soit possible d'avoir jusqu'à deux satellites en visibilité du détecteur SETS; et
- que la puissance individuelle reçue au SETS soit plus ou moins la même (c'est-à-dire -169 dBW pour une largeur de bande de 20 MHz pour MEGHA-TROPIC et -179 dBW pour EOS AMSR-E),

la puissance résultante valable pour deux satellites est égale à $10 \log_{10} (2 \times 10^{-16,9}) = -166$ dBW pour MEGHA-TROPIC et $10 \log_{10} (2 \times 10^{-17,9}) = -176$ dBW pour EOS AMSR-E. Dans les deux cas, la puissance brouilleuse est également au-dessous du seuil de brouillage requis.

Dans le cas le plus défavorable d'un satellite SFS non OSG similaire fonctionnant avec une densité de p.i.r.e. qui produit la puissance surfacique maximale admissible à la surface de la Terre, le niveau de puissance calculée au satellite MEGHA-TROPIC excède le critère de brouillage SETS de 11 dB. Dans la même hypothèse où deux satellites de la sorte sont simultanément visibles, le niveau de brouillage calculé excède les critères SETS de $(11 + 10 \log_{10} 2) = 14$ dB si chaque satellite fonctionne au niveau de puissance surfacique maximum permis. Pour le détecteur passif EOS AMSR-E de plus faible altitude, le niveau de brouillage calculé excède les critères SETS de $(1 + 10 \log_{10} 2) = 4$ dB pour le cas à deux satellites.

4.2.2.2 Cas 2 – réseaux non OSG (trajet quasiment rasant)

Pour le cas 2, la situation géographique est telle que le satellite du SFS est dans la direction du gain d'antenne maximum du détecteur SETS. Ce cas n'existe pas parce que:

- l'ouverture de faisceau complète de l'antenne du faisceau principal est égale à $6,7^\circ$ et concentre plus de 90% de l'énergie;
- l'angle réel et opérationnel hors nadir du détecteur SETS est de 44° ;
- l'écartement minimum hors nadir du satellite SETS où le ciel est vu est d'environ 60° ; et
- les lobes latéraux de l'antenne SETS au-dessus de cet angle minimum hors nadir sont déjà au-dessous de -30 dB.

4.2.3 Calculs avec les réseaux elliptiques/HEO (réception du lobe arrière)

La situation géométrique considérée est telle que le détecteur SETS est situé directement au-dessous du satellite SFS émetteur.

La différence entre le niveau de brouillage et les critères SETS est calculée dans le Tableau 19 lorsque les liaisons descendantes du SFS sont sur la même fréquence que les détecteurs du SETS (passive). Dans le cas d'opérations au périégée, la p.i.r.e./porteuse a été ajustée au niveau qui produirait juste la puissance surfacique maximale admissible à la surface de la Terre.

TABLEAU 19

Analyse de compatibilité avec des réseaux elliptiques

Paramètre	MEGHA-TROPIC		EOS AMSR-E	
Gamme de fréquences de la liaison descendante (GHz)	10,7-11,7		10,7-11,7	
p.i.r.e./porteuse pour un faisceau (dBW)	58		58	
Largeur de bande (MHz)	24		24	
Distance FSAT-SETS (km)	40 632 (apogée)	3 283 (périégée)	40 744 (apogée)	3 395 (périégée)
Limite de puissance surfacique ajustée de la p.i.r.e./porteuse au périégée pour un faisceau (dBW)	58	41	58	41
Affaiblissement en espace libre (dB)	205	183	205	184
Angle de décalage paraboloïde du SETS avec le nadir (degrés)	44	44	47,5	47,5

TABLEAU 19 (suite)

Paramètre	MEGHA-TROPIC		EOS AMSR-E	
	Gain de l'antenne SETS (dBi)	-14	-14	-23
Puissance reçue au SETS dans la largeur de bande ci-dessus (dBW)	-161	-156	-170	-166
Puissance correspondante reçue au SETS dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-162	-157	-171	-167
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 20 MHz (dBW)	-163	-163	-163	-163
Différence entre la puissance brouilleuse et le critère de protection SETS à la p.i.r.e. de fonctionnement proposée (dB)	1	6	0	0
Largeur de bande de référence pour la limite de puissance surfacique (kHz)	1 000	1 000	1 000	1 000
Puissance surfacique maximum permise par l'Article 21 du RR (dB(W/(m ² · MHz)))	-116	-116	-116	-116
Puissance surfacique produite par la densité de p.i.r.e. de fonctionnement à la surface de la Terre (dB(W/(m ² · MHz)))	-119	-116	-119	-116
Augmentation admissible de densité de p.i.r.e. (dB)	3	0,0	3	0,0
Différence entre la puissance brouilleuse et le critère de protection SETS à la p.i.r.e. maximum permise (dB)	4	6	0	0

Dans le cas d'un détecteur passif MEGHA-TROPIC, les critères de brouillage SETS sont dépassés de 1 dB pour le satellite USAKU-H1 lorsqu'il est à son apogée et le seuil est dépassé de 6 dB lorsqu'il est à l'apogée et fonctionne à la puissance surfacique maximum permise. Si la densité de p.i.r.e. du satellite à l'apogée est augmentée jusqu'au maximum admissible selon l'Article 21 du RR, les critères de brouillage sont dépassés de 4 dB.

4.2.4 Calculs à la fois pour des réseaux OSG et pour des réseaux non OSG dans le cas de dispersion

Une forme de puissance brouilleuse sur le service passif vient des rayonnements non désirés du SFS qui sont dispersés vers le haut à partir de la surface de la Terre vers un détecteur SETS voisin.

Pour les fréquences autour de 10-20 GHz, l'énergie dispersée a une composante spéculaire significative. La dispersion par ce mode constituerait le cas le plus défavorable de brouillage. Et donc, le brouillage maximum surviendrait lorsque:

- le détecteur est en vue d'une zone de couverture du SFS;
- le satellite SFS, le détecteur, le centre de la Terre, et l'intersection des faisceaux SFS et du détecteur se trouvent tous dans le même plan;
- l'intersection des faisceaux du satellite SFS et du détecteur se trouve entre les nadirs du satellite SFS et du détecteur; et
- l'axe du faisceau du satellite SFS et l'axe du faisceau du détecteur coupent la Terre au même angle.

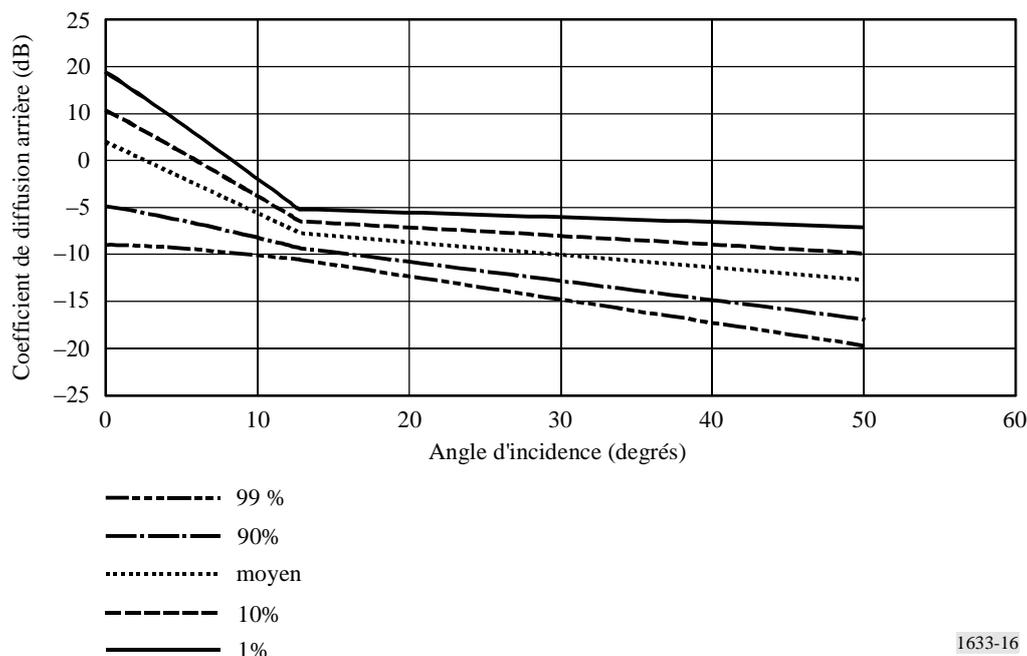
D'autres modes de dispersion existent. Ils pourraient survenir plus fréquemment mais à un niveau moindre.

4.2.4.1 Coefficient de diffusion

L'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SA.1449 décrit un modèle de coefficient de diffusion qui permet d'estimer la direction et l'intensité de la diffusion par la surface de la Terre. Des expériences sur Skylab ont déterminé un coefficient de diffusion radar à la surface de la Terre à 13,9 GHz sur le *Conterminous United States* (CONUS), incluant les 48 Etats contigus et le District de Columbia. En utilisant de telles procédures d'extrapolation de la fréquence à d'autres bandes, et en supposant que la densité de probabilité du coefficient de diffusion a une forme log-normale, on estime que le coefficient de diffusion, pour le cas le plus défavorable de géométrie décrit ci-dessus, a une valeur moyenne d'environ 2 dB. Cependant, pendant 10% du temps, ce coefficient peut dépasser 5,2 dB et pendant 1% du temps, il peut dépasser 9,4 dB à 10,65 GHz (voir la Fig. 16). Des travaux complémentaires sont prévus au sein de l'UIT-R pour développer un modèle bistatique de diffusion des hyperfréquences pour l'évaluation du brouillage en utilisant cette approche.

FIGURE 16

Modèle de coefficient de diffusion



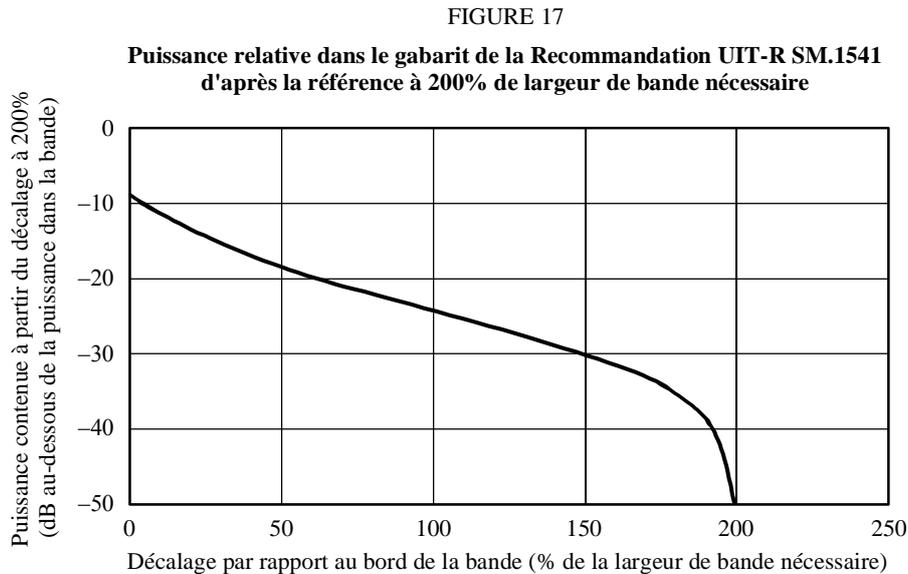
1633-16

Cependant, la plupart du temps, la diffusion se fera selon un mode moins directionnel avec une gamme de coefficients de diffusion de $-12,8$ à $-5,7$ dB selon l'angle d'incidence (valeur plus petite pour 50° d'incidence/ 40° d'élévation). Rappel du § 3.2.2, le seuil de brouillage est couplé avec une fréquence d'occurrence. Ce facteur est une combinaison des statistiques du coefficient de diffusion et de la dynamique du mouvement relatif du satellite SFS et du satellite SETS. Le couplage de ces deux facteurs exige des études plus approfondies. Ici, nous examinerons seulement le scénario le plus défavorable de l'interception d'une réflexion spéculaire au niveau d'occurrence de 1%.

4.2.4.2 Brouillage hors bande en utilisant le gabarit hors bande de la Recommandation UIT-R SM.1541

L'Appendice 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SM.1541 décrit les procédures de calcul de la puissance des rayonnements non désirés entre deux fréquences quelconques dans le domaine des émissions hors bande.

Deux méthodes équivalentes sont données et consistent essentiellement à estimer l'intégrale du gabarit spectral sur une plage de fréquences donnée par les deux fréquences. Par conséquent, afin de déterminer l'impact de ce gabarit, il est intégré pour donner les résultats de la Fig. 17.



1633-17

Si on avait supposé que la puissance totale au sein d'un service de bande adjacente incluait les émissions hors bande de chaque côté de la largeur de bande nécessaire, l'intégration de la relation ci-dessus indiquerait qu'environ 12,5% (-9 dB) de l'énergie serait émise dans le domaine hors bande de chaque côté de la largeur de bande nécessaire. Donc, si aucune tolérance n'est faite pour une bande de garde entre deux bandes attribuées adjacentes (les deux services fonctionnent en bordure de bande), un service actif dans la bande 10,7-11,7 GHz pourrait contribuer à des rayonnements non désirés brouillant le service passif allant jusqu'à 12,5% de la puissance émise totale ($P - 9,0$ dB). Bien sûr, l'utilisation de bandes de garde avec l'un ou l'autre des deux services pourrait réduire considérablement ce brouillage. Cependant, pour cette évaluation initiale, on supposera qu'on n'utilise pas de bande de garde.

Le Tableau 20 indique les bilans de puissance pour les trois systèmes à satellites représentatifs qui montrent les marges de seuil de brouillage pour chacun d'eux. Avec le gabarit hors bande de la Recommandation UIT-R SM.1541, le niveau des rayonnements non désirés dans la bande passive est obtenu par intégration sur le gabarit hors bande entre les deux bords de la bande passive. Pour le cas OSG avec 250 MHz de largeur de bande et le détecteur ayant une largeur de bande de 100 MHz, les limites d'intégration appropriées vont de 0 à 40% de la largeur de bande nécessaire du service actif. Une opération équivalente prendrait simplement la différence de l'antilog à 0 et 40% tirés de la Fig. 17, et convertirait cela en dB. Procéder ainsi indiquerait un niveau de rayonnements non désirés d'environ 9,8 dB au-dessous de la puissance dans la bande moyenne du service actif. Ce résultat est indiqué au Tableau 20 comme facteur hors bande. Aussi bien pour le système LEO-N que pour le système USAKU-H1, la limite supérieure du pourcentage d'intégration s'étend au-delà du gabarit de la Recommandation UIT-R SM.1541 (qui se termine à la limite des rayonnements non essentiels de 200% de la largeur de bande nécessaire). Pour cela, nous ne prenons en compte que les rayonnements non désirés définis par le gabarit hors bande et excluons ceux qui sont dus aux rayonnements non essentiels. La contribution totale provenant du domaine des émissions hors bande est de 9 dB au-dessous de la puissance moyenne dans le service actif. Les systèmes GSO-VX

et LEO-N peuvent tous deux satisfaire aux conditions d'alignement d'une réflexion spéculaire le long de l'axe de l'antenne du détecteur (angle d'élévation = 35°). Cependant, le système USAKU-H1 est conçu pour un fonctionnement à de forts angles d'élévation, de l'ordre de 70°. Par conséquent, il ne devrait jamais y avoir un tel alignement avec ce système. Au point de la Terre où l'axe du détecteur coupe l'axe de l'antenne du service actif, il y aura un décalage de $\varepsilon - \varphi = 35^\circ$ comme indiqué à la Fig. 18.

TABLEAU 20

Estimation des marges de brouillage pour des systèmes SFS typiques en utilisant le gabarit hors bande de la Recommandation UIT-R SM.1541

	Système SFS		
	GSO-VX	LEO-N	USAKU-H1
p.i.r.e. (dBW)	47,0	17,6	58,0
Largeur de bande du répéteur SFS (MHz)	250,0	4,9	24,0
Largeur de bande du détecteur (MHz)	100	100	100
Pourcentage de décalage de fréquence par rapport au bord de la bande	0-40	_(¹)	_(¹)
Facteur de puissance hors bande	-9,8	-9,0	-9,0
Puissance brouilleuse dans la bande du détecteur (dBW)	37,2	8,6	49,0
Réglage de largeur de bande de seuil (dB) ⁽²⁾	-7,0	-7,0	-7,0
DSP à l'émission (dB(W/20 MHz))	30,2	1,6	42,0
Elévation du satellite du service actif (degrés)	35,0	35,0	70,0 ⁽³⁾
Portée SFS (km)	38 180	1 117	41 784
Affaiblissement dû à l'étalement du faisceau (dB)	162,5	132,0	163,4
Centre de puissance surfacique hors bande de la zone projetée (dB(W/(m ² · 20 MHz)))	-134,7	-131,4	-123,8
Coefficient de diffusion (dB)	9,4	9,4	-5,5 ⁽⁴⁾
Ouverture de faisceau du détecteur (degrés)	1,4	1,4	1,4
Portée du détecteur (km)	1 124	1 124	1 124
Zone du faisceau du détecteur (millions de m ²)	592	592	592
Elévation du détecteur (degrés)	35	35	35
Zone du faisceau projeté (millions de m ²)	1 033	1 033	1 033
Puissance dispersée (dB(W/20 MHz))	-35,3	-33,2	-37,0
Voie d'accès au détecteur (dB)	-174	-174	-174
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	41	41	41
DSP reçue (dB(W/(m ² · 20 MHz)))	-168,3	-166,2	-170,0
Seuil de brouillage (dB(W/20 MHz))	-163	-163	-163
Marge (dB)	5,3	3,2	7,0

(1) Comme expliqué dans le texte, la gamme de pourcentage excède la gamme de validité du gabarit hors bande, et l'intégration du gabarit hors bande ignore la contribution de brouillage provenant de la région au-delà des frontières des rayonnements non essentiels à 200% de la largeur de bande nécessaire.

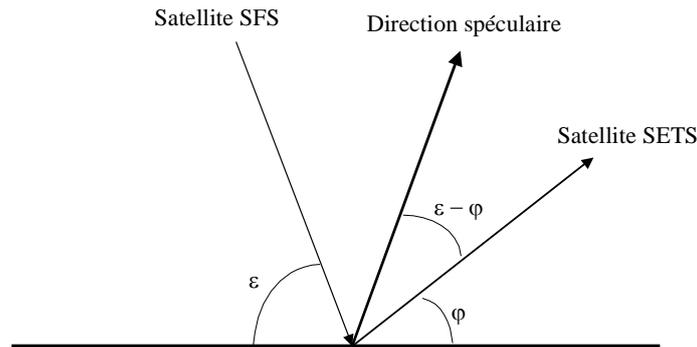
(2) Le seuil de largeur de bande de référence est 1/5 de la largeur de bande du détecteur.

(3) Les systèmes HEO sont habituellement conçus pour de forts angles d'élévation, on suppose 70°.

(4) La meilleure approche du spéculaire est un décalage de 12,5°, ce qui donne le plus petit coefficient.

FIGURE 18

Décalage de l'axe détecteur SETS par rapport à la réflexion spéculaire



1633-18

D'après le § 3.2 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SA.1449, le coefficient de dispersion approprié pour ce décalage serait la valeur correspondant à la moitié de ce décalage tiré de la Fig. 12 à la fréquence d'occurrence qui nous intéresse. Avec une élévation de satellite SFS de 70° et une élévation de satellite SETS de 35° , la moitié du décalage serait $17,5^\circ$ et le coefficient de dispersion à 1% de la fréquence d'occurrence d'après la Fig. 16 serait d'environ $-5,5$ dB.

La densité spectrale de la puissance diffusée a une variation d'environ 4 dB dans les trois systèmes. La marge nette par rapport au brouillage est positive dans chaque cas, le système LEO-N ayant la plus faible marge.

4.2.4.3 Brouillage hors bande en utilisant le numéro 1.153 du RR

Le but de cette disposition est de donner dans le RR une définition de la largeur de bande occupée fondée sur la puissance d'une émission. Dans la présente étude, on suppose que la largeur de bande occupée est entièrement à l'intérieur de la bande attribuée et que pas plus de 0,5% de la puissance ne tombe au-dessus ou au-dessous de la bande attribuée. Si tel était le cas, la puissance moyenne soit au-dessus, soit au-dessous de la bande attribuée, ne serait pas supérieure à -23 dB par rapport à la puissance totale de l'émission. Ici, nous supposons que la distribution de cette puissance de rayonnement non désiré est uniforme sur une largeur de bande égale à la largeur de bande du service actif. Par conséquent, les rayonnements non désirés en dehors de la bande attribuée subis par la bande passive provenant du cas GSO-VX seraient réajustés par le ratio $10 \log(100/250)$. Dans la mesure où LEO-N et USAKU-H1 ont des largeurs de bande inférieures à la bande passive, la bande passive est soumise à l'allocation entière des rayonnements non désirés.

Dans la mesure où le seuil de brouillage est référencé à 20 MHz, nous faisons un nouvel ajustement de largeur de bande de $10 \log(20/100) = -7$ dB.

Avec ces considérations, un bilan de puissance montrant les marges contre les brouillages est donné au Tableau 21.

4.3 Valeurs obtenues

Le critère de brouillage est satisfait pour les cas des systèmes OSG et non OSG étudiés qui fonctionnent à leurs niveaux de p.i.r.e. proposés. Pour les cas où les systèmes SFS fonctionnent aux limites maximales de puissance surfacique permises au titre de l'Article 21 du RR, les calculs présentés au § 4.2.2.1 indiquent que les critères de brouillage SETS sont dépassés d'une valeur pouvant aller jusqu'à 14 dB quand on considère l'impact de deux satellites non OSG.

TABLEAU 21

**Marges de brouillage estimées pour des systèmes SFS typiques
en utilisant le numéro 1.153 du RR**

	Système SFS		
	GSO-VX	LEO-N	USAKU-H1
p.i.r.e. (dBW)	47,0	17,6	58,0
Facteur hors bande attribuée (dB) ⁽¹⁾	-23,0	-23,0	-23,0
Largeur de bande du répéteur SFS (MHz)	250,0	4,9	24,0
Largeur de bande du détecteur (MHz)	100	100	100
Réglage de largeur de bande hors bande attribuée (dB) ⁽²⁾	-4,0	0,0	0,0
Réglage de largeur de bande de seuil (dB)	-7,0	-7,0	-7,0
p.i.r.e. équivalente en hors bande attribuée (dB(W/20 MHz))	13,0	-12,4	28,0
Portée du SFS (km)	38 180	1 117	41 784
Affaiblissement dû à l'étalement du faisceau (dB)	162,5	132,0	163,4
Angle d'incidence de référence (degrés)	55,0	55,0	20,0
Puissance surfacique hors bande au point de diffusion (dB(W/m ²))	-149,9	-136,0	-129,2
Coefficient de dispersion (dB)	9,4	9,4	-5,5
Ouverture de faisceau du détecteur (degrés)	1,4	1,4	1,4
Portée du détecteur (km)	1 124	1 124	1 124
Zone du faisceau du détecteur (millions de m ²)	592,5	592,5	592,5
Élévation du détecteur (degrés)	35,0	35,0	35,0
Zone du faisceau projeté (millions de m ²)	1 033	1 033	1 033
Puissance diffusée (dB(W/20 MHz))	-52,5	-47,2	-51,0
Trajet au détecteur (dB)	-172,6	-172,6	-172,6
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	41,0	41,0	41,0
DSP reçue (dB(W/(m ² · 20 MHz)))	-185,5	-180,2	-184,0
Seuil de brouillage (dB(W/20 MHz))	-163,0	-163,0	-163,0
Marge (dB)	22,5	17,2	20,4

⁽¹⁾ Suppose 0,5% d'attribution extérieure de chaque côté.

⁽²⁾ Suppose une puissance hors bande attribuée uniformément distribuée sur la largeur de bande égale à la largeur de bande du service actif.

On obtiendra la compatibilité dans tous les cas considérés ci-dessus si la largeur de bande occupée de l'émission SFS tient entièrement dans la bande attribuée. Cependant, cela peut n'être pas possible pour le service actif, on peut exiger que le service SFS supporte la charge de l'utilisation de méthodes de réduction des brouillages telles que le filtrage ou la bande de garde.

Pour ce qui concerne l'application de la Recommandation UIT-R SM.1541, le Tableau 22 résume le dépassement des critères de brouillage calculés pour chacun des cas visés dans les § 4.2.1, 4.2.2 et 4.2.3 ci-dessus et les séparations de fréquence impliquées par la Fig. 15 pour les largeurs de bande nécessaires spécifiées considérées.

TABLEAU 22

Résumé des calculs de seuil de dépassement de brouillage et de séparation de fréquence

	Dépassement de seuil de brouillage (dB)	Décalage de fréquence calculé (%)	Largeur de bande de la porteuse (MHz)	Bande de garde calculée (MHz)
GSO-VX	0	–	–	–
Puissance surfacique maximum pour le SFS OSG	4	34	36 ⁽¹⁾	5
FSAT-MULTI 1-B	0	–	–	–
Puissance surfacique maximale pour le SFS non OSG	14	63	41	26
USAKU-H1	1 (apogée) 6 (périgée)	3 (apogée) 20 (périgée)	24	1 (apogée) 5 (périgée)
Puissance surfacique maximale pour le SFS HEO	4 (apogée) 6 (périgée)	13 (apogée) 20 (périgée)	24	3 (apogée) 5 (périgée)

⁽¹⁾ Largeur de bande type d'un répéteur du service SFS.

5 Techniques de réduction des brouillages

Les types proposés de satellites OSG et non OSG considérés ci-dessus qui fonctionnent à des niveaux de densité de p.i.r.e. substantiellement inférieurs aux niveaux maximaux permis par l'Article 21 du RR n'exigent pas de techniques de réduction des brouillages. Cependant, des techniques de réduction des brouillages peuvent être nécessaires dans le cas des systèmes SFS à orbite elliptique HEO proposés, ainsi que pour tous les types de systèmes SFS fonctionnant avec des densités de p.i.r.e. plus élevées que celles des réseaux SFS particuliers considérés ci-dessus s'ils produisent des niveaux de puissance surfacique à la surface de la Terre qui approchent des limites du Tableau 21-4 du RR.

Dans de tels cas, avoir la largeur de bande occupée entièrement contenue dans la bande attribuée au service SFS conduirait à la compatibilité entre les deux services. Cependant, l'impact de cette obligation sur le service SFS pourrait être significatif, soit en perte de capacité à cause de l'application d'une bande de garde dans la bande de l'Appendice 30B du RR, soit dans la mise en œuvre de filtrages supplémentaires.

Cela parce que l'ajout d'un filtre de sortie à une station spatiale conduirait à des coûts de construction supplémentaires et à des retards résultants de la conception, de la construction et des essais du filtre. De plus, les filtres causent un affaiblissement d'insertion après l'amplificateur de forte puissance, ce qui implique le choix d'un plus gros amplificateur de puissance pour conserver

les mêmes capacités du réseau. Un plus gros amplificateur de puissance a un impact sur le poids et sur les besoins de puissance du lanceur de la station spatiale, ce qui a un impact sur le coût de la station spatiale. De plus, l'insertion d'un filtre augmente le temps de propagation de phase, ce qui a pour résultat un besoin d'égalisation au terminal et augmente le coût du terminal.

On peut aussi en pareil cas réaliser la compatibilité par des moyens moins onéreux que la conformité complète au numéro 1.153 du RR. Par exemple, contrôler que le pourcentage de la puissance hors bande totale reste en dessous de 4% semble suffisant pour satisfaire aux critères de brouillage du SETS dans les hypothèses les plus défavorables, dans les calculs présentés ci-dessus. Employer dans le service SFS des rayonnements dont le spectre hors bande déclinerait plus vite que selon le gabarit de la Recommandation UIT-R SM.1541 produirait un plus petit décalage de fréquence en pourcentage de la largeur de bande nécessaire qu'il ne faut pour satisfaire aux critères du service passif. A noter que les valeurs de bande de garde calculées dans le Tableau 20 se fondent sur les largeurs de bande de porteuse spécifiées pour les systèmes spécifiques considérés et que de plus faibles largeurs de bande de porteuse peuvent exiger de plus petites bandes de garde pour réaliser le critère de protection du SETS. Des études complémentaires sont nécessaires pour établir si les systèmes SFS peuvent raisonnablement employer les méthodes de réduction des brouillages mentionnées ci-dessus.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La présente étude vise à une analyse de compatibilité entre le service SETS (passive) dans la bande 10,6-10,7 GHz et le SFS (espace vers Terre) dans la bande 10,7-10,95 GHz.

Deux radiomètres hyperfréquences différents du service SETS (passive) ont été pris en compte et trois différents types de réseaux à satellite du SFS ont été examinés dans la présente étude, c'est-à-dire des réseaux à satellite OSG et non OSG (y compris HEO/elliptique). Les calculs ont été effectués en utilisant les niveaux de p.i.r.e./porteuse spécifiés pour les systèmes proposés ainsi que pour le cas le plus défavorable de niveau p.i.r.e./porteuse qui produisent le niveau maximum de puissance surfacique à la surface de la Terre permis par l'Article 21 du RR.

Des techniques de réduction des brouillages produisant une réduction des rayonnements non désirés jusqu'à 14 dB pour les systèmes non OSG et 4 dB pour les systèmes OSG seraient nécessaires pour certains systèmes SFS fonctionnant aux niveaux maximaux de densité de p.i.r.e. conformes aux limites de puissance surfacique de l'Article 21 du RR afin de satisfaire au critère de protection SETS pendant 100% du temps. Cette réduction pourrait peut-être être réalisée conformément au numéro 1.153 du RR (en supposant que la largeur de bande occupée totale soit comprise dans la bande attribuée au SFS et qu'il n'y ait pas plus de 0,5% de la puissance qui tombe au-dessus ou au-dessous de la bande attribuée), ou par une combinaison de la commande de la puissance hors bande totale de l'émission SFS qui tombe dans la bande attribuée au SETS (passive), et/ou de l'emploi des décalages de fréquence au sein de la bande attribuée au SFS. Il reste à étudier si tous les systèmes SFS peuvent satisfaire à cette contrainte. Pour les cas particuliers considérés dans la présente analyse, des décalages de fréquence allant jusqu'à 63% de la largeur de bande nécessaire ont été calculés sur la base du gabarit des émissions hors bande de la Recommandation UIT-R SM.1541.

Comme indiqué au § 2.2, il n'a pas été possible d'entreprendre une analyse du brouillage traitant des systèmes SFS qui utiliseraient en Région 1 l'attribution de liaison descendante de 10,7-11,7 GHz en application du numéro 5.484 du RR (limitée aux liaisons de connexion du service de radiodiffusion), parce qu'il n'existe actuellement pas d'informations disponibles sur de tels systèmes.

Si de tels systèmes devaient être déployés, ce serait un souci majeur pour les détecteurs SETS (passive) dans la mesure où ces liaisons sont prévues dans le sens Terre vers espace. Il pourrait s'écouler un laps de temps significatif pendant lequel le signal envoyé par de telles stations terriennes SFS serait dans le faisceau principal ou le premier lobe latéral de l'antenne SETS.

6.2 Conclusions

Les critères de brouillage du service SETS sont satisfaits pour les cas de systèmes OSG ou non OSG fonctionnant aux niveaux proposés de p.i.r.e./porteuse. Une réduction supplémentaire de 14 dB de la puissance des rayonnements non désirés peut être demandée par certains systèmes SFS fonctionnant aux niveaux maximaux de densité de p.i.r.e. qui soient conformes aux limites de puissance surfacique de l'Article 21 du RR. Dans tous ces cas, le fait d'avoir la largeur de bande occupée contenue entièrement à l'intérieur de la bande attribuée au service SFS conduirait à la compatibilité entre les deux services. Dans le cas spécial des satellites HEO, dans la mesure où ils émettent principalement dans la position d'apogée et ne fonctionnent pas dans la position du périégée, il est peu vraisemblable que survienne cet événement de brouillage. L'application des critères d'indisponibilité de la Recommandation UIT-R SA.1029 pourrait modifier cette diffusion.

Annexe 10

Analyse de compatibilité entre systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz et systèmes du SFS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 10,7-10,95 GHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

La bande 10,6-10,7 GHz est attribuée à titre primaire aux SRA, SETS (passive) et service 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.

1.2 Type d'observations

1.2.1 Observations à antenne unique

L'utilisation astronomique de la bande inclut l'observation de sources synchrotron non thermiques qui ne sont détectables qu'à cette gamme de fréquences. Ces observations donnent des informations aux plus hautes fréquences auxquelles de telles sources peuvent être facilement détectées, et cela permet de déterminer certains paramètres physiques de ces sources. La bande 10,6 GHz est aussi extrêmement importante pour la surveillance de la variabilité de l'intensité des radiogalaxies, y compris les quasars. Ces objets, dont on pense qu'ils sont les objets célestes les plus éloignés que

puissent détecter les astronomes, se sont révélés varier en intensité selon des périodes allant de l'heure à l'année, et produire des quantités d'énergie étonnamment grandes. L'énergie émise durant une de ces explosions de quasar est équivalente à la destruction complète de plusieurs centaines de millions d'étoiles sur une période de quelques semaines ou mois. La physique fondamentale qui peut produire de tels phénomènes n'est pas encore complètement comprise et les observations de la taille et de la variabilité de ces sources sont cruciales pour la résolution de ces énigmes. Pour faire de telles observations, la meilleure gamme de fréquences est 10-15 GHz.

La variabilité des quasars est prononcée à ces fréquences, et leur observation facilite la découverte et la surveillance de tels phénomènes, dont la physique est jusqu'à présent si mal comprise des astronomes. Les observations nous conduisent à estimer les tailles de ces sources, qui se révèlent très petites par rapport à la quantité d'énergie qu'elles dégagent. La bande des 10,6 GHz donne une des meilleures résolutions angulaires (~2 min d'arc) pour de nombreux grands radiotélescopes à antenne unique.

1.2.2 Observations VLBI

Les tailles extrêmement petites des quasars (de l'ordre de la milliseconde d'arc) sont révélées par les observations VLBI. De telles observations sont aussi effectuées dans la bande de fréquences 10,6-10,7 GHz, bien qu'à présent la bande des 8,4 GHz soit la plus fréquemment utilisée. La gamme 8-10 GHz donne une meilleure résolution angulaire que les observations faites à de plus basses fréquences et permet aux scientifiques de déterminer plus précisément les tailles et les structures à petite échelle des radiogalaxies.

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 de seuil de brouillage nuisible pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 10,6-10,7 GHz, pour les observations du continuum à antenne unique utilisant la totalité de la largeur de bande de 100 MHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de $-160 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$. Cette bande n'est utilisée que pour les observations du continuum et pas pour l'observation de raies radioélectriques.

Les observations VLBI, où des signaux d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage. Ceci est reflété dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $-145 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, pour une largeur de bande de 50 kHz.

Pour les 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 SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes SMS et SRNS.

Les seuils des niveaux de brouillage nuisible pour le SRA, 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 même finalement être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut compenser en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du débit des données scientifiques. Si le niveau de brouillage, avec les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir

que des données scientifiques valables sont fournies aux scientifiques. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et sa capacité à fournir le service aura été perdue si des techniques de réduction des brouillages ne peuvent être appliquées.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les observations dans la bande 10,6-10,7 GHz sont effectuées dans 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 les émissions d'arrière-plan soustraites, ou alors on fait des mesures de la puissance venant de la direction de la source (de source) et à une ou plusieurs positions proches dans le ciel (hors source). En soustrayant les valeurs hors source des valeurs de source, les émissions provenant de la source sont séparées des autres contributions à la sortie du récepteur.

On peut effectuer la cartographie de larges zones de radioémission en enregistrant les émissions d'une grille de points couvrant la région intéressée. Dans le cas de radiotélescopes à antenne unique, chaque observation d'un point de la grille est une indication de la puissance totale provenant de cette position dans le 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 de synthèse, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Les observations VLBI se font par conversion des signaux en bande de base; on les numérise sans démodulation, et on les enregistre sur une bande magnétique ou un autre support avec des signaux de synchronisation temporelle précis. Les données sont alors transmises à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein effet des brouillages peut n'être pas découvert avant la fin de la période d'observation et le traitement des données.

2 SFS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande de service active considérée est 10,7-10,95 GHz.

2.2 Application

La bande 10,7-10,95 GHz est attribuée à titre primaire au SFS. Cette attribution est régie par l'Appendice 30B du RR, qui utilise un plan d'allotissement et de garantie de capacités pour tous les Etats Membres. Etant donné que la politique générale est celle du premier arrivé, premier servi, 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 imposition de contraintes comme des bandes de garde ou de filtrages sur le service SFS aurait un impact sur le Plan d'allotissement de l'Appendice 30B du RR.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Les niveaux de rayonnements non désirés dans la bande 10,6-10,7 GHz provenant du service SFS sont fondés sur les limites réglementaires de puissance surfacique dans la bande. La conversion de la puissance dans la bande à la puissance hors bande est faite en utilisant les niveaux de rayonnements non essentiels de l'Appendice 3 du RR et les niveaux d'émission hors bande de 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.

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.

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 donne une gamme de -116 à $-126 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ce qui représente une gamme de -176 à $-186 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ entre 0° et 90° au-dessus du plan horizontal.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Sur la base de l'expérience acquise avec certains sites de radioastronomie et certains systèmes à satellites dans ces bandes, des informations ont été fournies par la communauté de la radioastronomie et des exploitants de satellites sur les niveaux de rayonnements non désirés qu'on peut escompter dans la bande 10,6-10,7 GHz.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Les calculs effectués sont fondés sur des informations fournies au § 4.3, comme indiqué au § 4.1.

4.3 Valeurs obtenues

4.3.1 Exemple européen pour les systèmes à satellites OSG

En Europe, le SRA subit dans la bande de fréquences 10,6-10,7 GHz des brouillages préjudiciables sévères par les émissions hors bande d'un système du SFS. Spécifiquement, ces brouillages préjudiciables ont effectivement rendu complètement impossibles les observations dans cette bande à l'observatoire radio de Effelsberg (Allemagne). Le problème a été signalé à l'Administration allemande, qui a confirmé les brouillages observés par des observations 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 réel de brouillages causés aux opérations du SRA est décrit ci-dessous, avec un satellite OSG du SFS particulier fonctionnant à une fréquence centrale nominale inférieure de 10,714 MHz avec une largeur de bande de répéteur de 26 MHz.

La Fig. 19 montre les résultats de la mesure du SRA à 10,6 GHz par le radiotélescope de 100 m d'Effelsberg, observant le point 3C84, une des plus fortes radiosources cosmiques ponctuelles. Cette mesure a été faite avant 1995. La taille du champ est 30' × 12', le flux provenant de la source est de 20,5 Jy ($\sim -247 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}))$).

FIGURE 19
Carte de l'objet galactique "3C84" dans la bande 10,6-10,7 GHz
avec le radiotélescope* de 100 m d'Effelsberg



1633-19

- * 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.

Puis, pendant l'année 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. Le satellite a une fréquence centrale inférieure d'émission de 10,714 GHz et une largeur de bande de répéteur de 26 MHz. La fluctuation de bruit résultante générée par les rayonnements non désirés du SFS à partir de cette position orbitale dans la bande adjacente du SRA à 10,6-10,7 GHz a été tellement forte qu'elle a complètement masqué tous les signaux astronomiques.

Ainsi, la Fig. 20 montre la carte qui en résulte dans le même champ de 30' × 12' du ciel que celui montré par la Fig. 19, mais après que le satellite a été mis en service en 1995, sa position orbitale étant espacée de 10° du champ cartographié dans le ciel. Par comparaison, l'image de 3C84 tirée de la Fig. 19 a été ajoutée sur la carte de la Fig. 20. Le très fort point source n'est plus visible par rapport au flux causé par les émissions du satellite.

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 service SFS à partir de la position orbitale donnée du satellite (voir la Fig. 21), afin de déterminer le niveau des rayonnements non désirés dans la bande du SRA. Cependant, on devrait noter que la sensibilité et la portée dynamique de la station de contrôle ne sont pas suffisantes pour vérifier les brouillages aux niveaux donnés comme critères de protection pour le SRA dans la Recommandation UIT-R RA.769.

NOTE – Sur la Fig. 20, l'objet galactique n'est plus visible à cause du brouillage reçu.

FIGURE 20

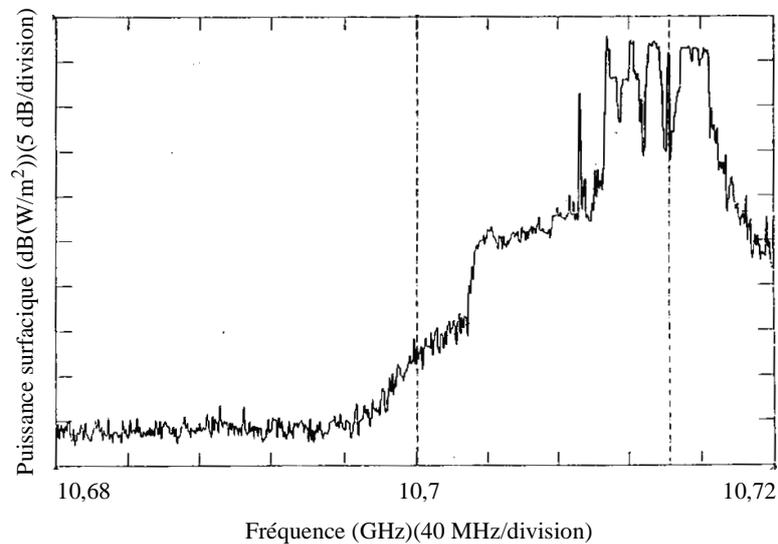
Carte du même champ céleste que sur la Fig. 19, mais avec le brouillage reçu au radiotélescope d'Effelsberg



1633-20

FIGURE 21

Mesure de la source de brouillage effectuée à la station de surveillance de Leeheim (1995)



1633-21

On peut voir d'après la Fig. 21 qu'au bord à 10,7 GHz de la bande attribuée au SRA, dans la bande passive exclusive, le niveau des rayonnements non désirés mesurés est de $-151 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une largeur de bande de référence de 100 kHz. Ceci 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,

-240 dB(W/(m² · Hz)), et de plus considère qu'il serait désirable qu'une limite plus contraignante de 15 dB soit appliquée dans le cas des satellites OSG. Cette différence considérable se produit au bord supérieur de la bande 10,6-10,7 GHz, et est inférieure dans le reste de la bande.

En descendant de la bordure de 10,7 GHz 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 dB(W/m²), sa décroissance est d'environ 10 dB pour 4 MHz. Si on suppose que ce taux de décroissance continue jusqu'à 10,6 GHz, la puissance totale émise estimée à partir de cette position orbitale dans la bande 10,6-10,7 GHz serait de -145,6 dB(W/m²), ce qui est à 14,4 dB au-dessus du seuil de -160 dB(W/m²) donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour la bande 10,6-10,7 GHz, et qui rend donc la totalité de la bande 10,6-10,7 GHz complètement inutilisable pour les observations de radioastronomie, comme l'indique la Fig. 20.

Bien que l'exploitant du système à satellites ait amélioré dans une certaine mesure le système et que des filtres aient été installés au radiotélescope d'Effelsberg, il n'a pas encore été possible de trouver de solution efficace à ce problème.

Les valeurs suivantes ont été fournies pour les niveaux des rayonnements non désirés de systèmes SFS typiques tombant dans la bande SRA. Deux exploitants ont mis en évidence que toute limite inférieure aux niveaux du Tableau 23 imposerait des contraintes insupportables aux systèmes SFS fonctionnant actuellement dans la bande de fréquences 10,7-10,95 GHz.

TABLEAU 23

Niveaux de rayonnements non désirés tombant dans la bande de fréquences 10,57-10,7 GHz à des points spécifiques

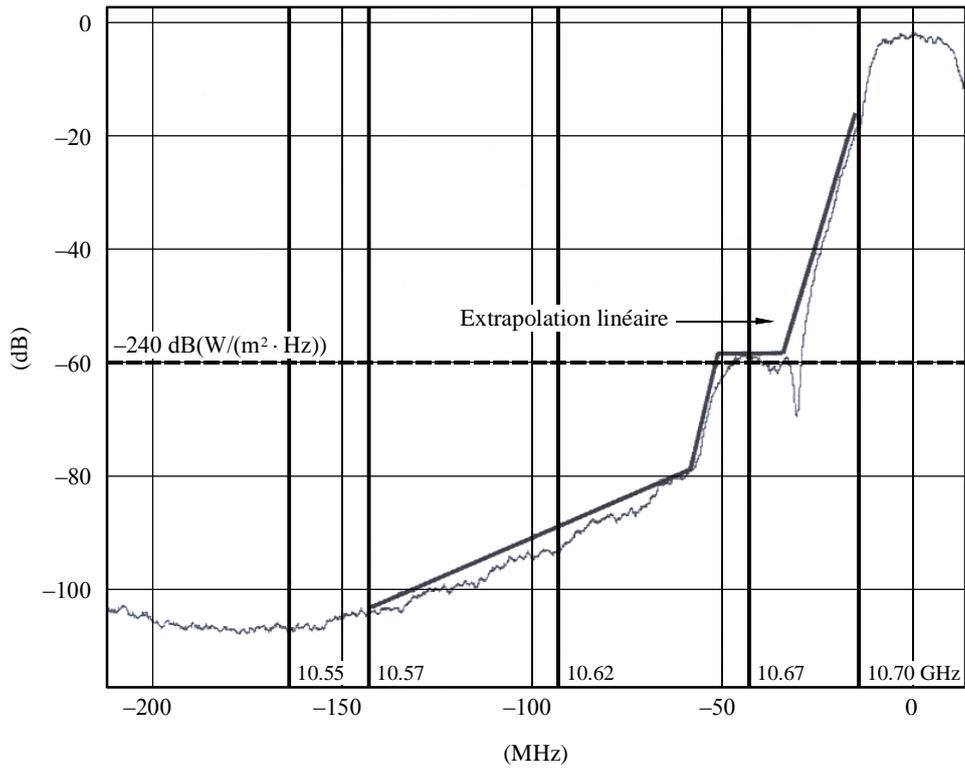
Frontière (GHz)	Niveau de densité spectrale de puissance surfacique de rayonnement non désiré (dB(W/(m ² · Hz)))
10,570	-285
10,656	-256
10,662	-237
10,680	-237
10,700	-195

La Fig. 22 montre les niveaux de densité spectrale de puissance surfacique d'une modulation numérique avec un débit de symboles de 22 Msymboles/s, 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 bande entière de radioastronomie de 100 MHz selon le décalage de fréquence.

Du fait de la nature même de la modulation numérique, la largeur de bande nécessaire d'une modulation numérique est très proche de la largeur de bande du répéteur. Donc, les niveaux de densité spectrale de puissance surfacique tombant dans la partie supérieure de la bande de fréquences attribuée au SRA sont beaucoup plus élevés que ceux observés pour une modulation analogique (voir la Fig. 23).

FIGURE 22

Gabarit d'émission hors bande numérique

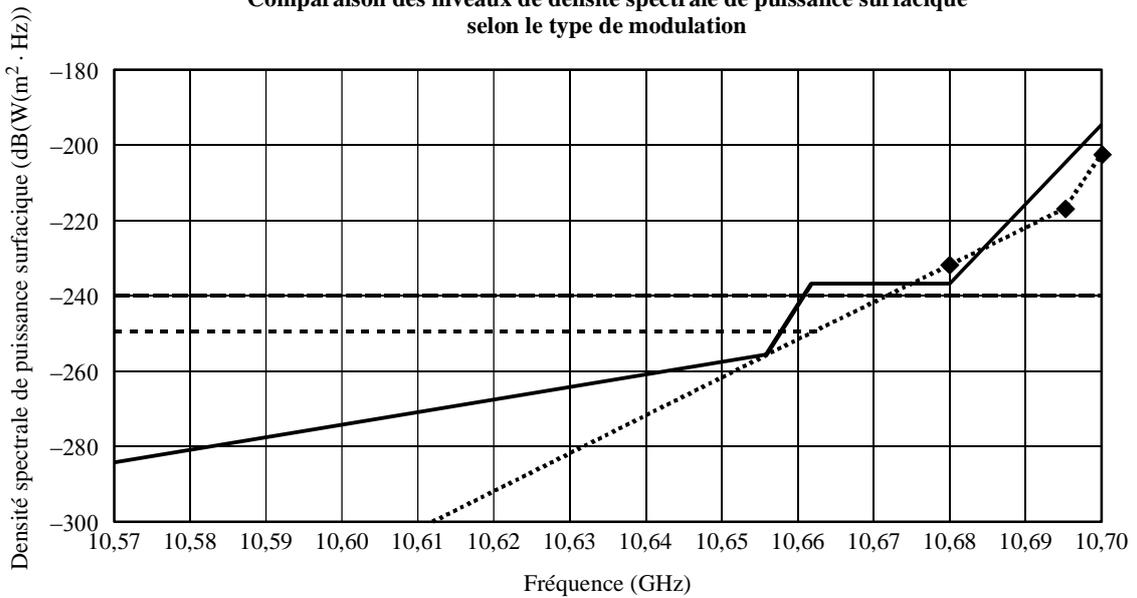


Débit de symbole: 22 Msymbole/s, décroissance de 35%

1633-22

FIGURE 23

Comparaison des niveaux de densité spectrale de puissance surfacique selon le type de modulation



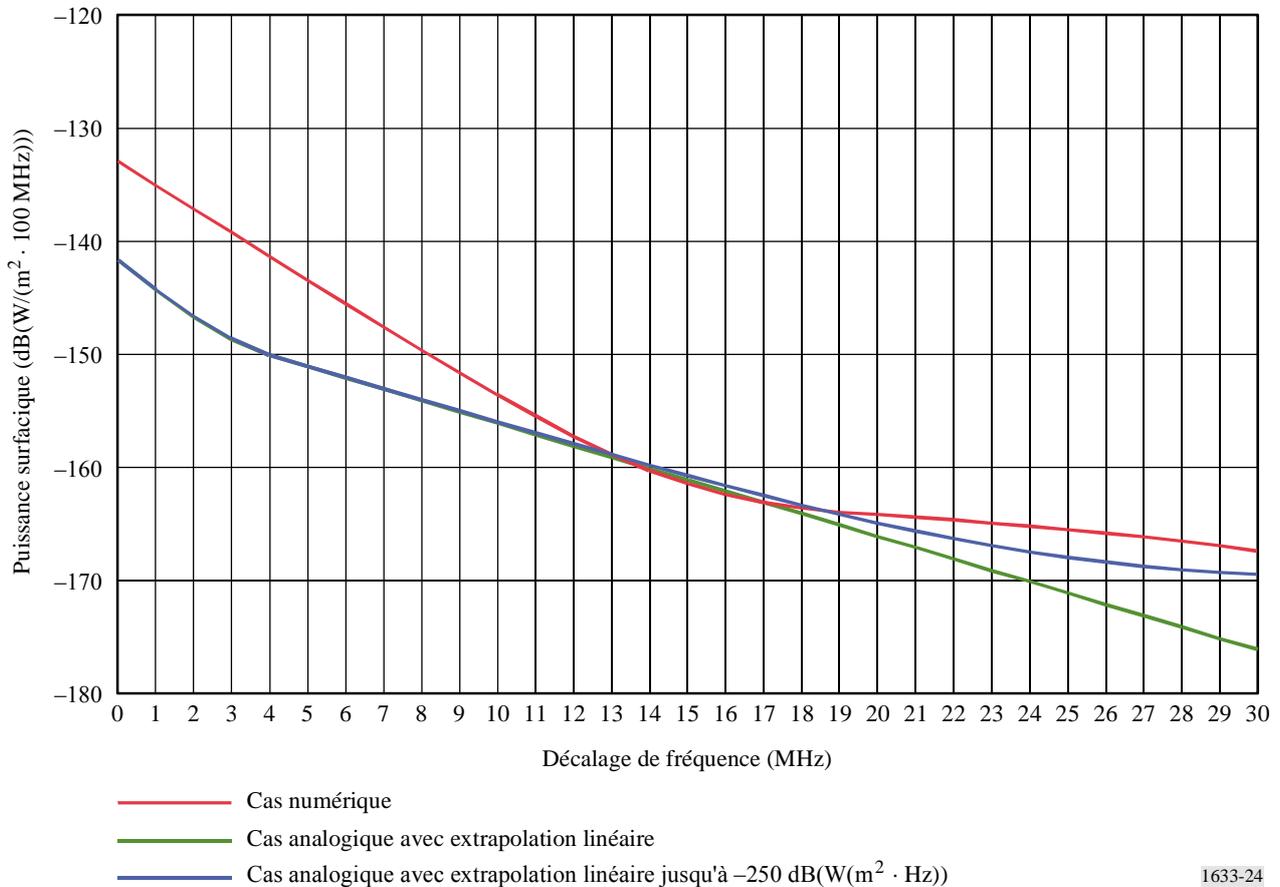
- Diminution de puissance numérique
-◆..... Niveaux analogiques hors bande initiaux
- - - Diminution de puissance analogique avec interpolation linéaire
- · - · - Diminution de puissance analogique avec interpolation linéaire jusqu'à -250 dB(W/(m² · Hz))

1633-23

D'après la Fig. 23, 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. 24).

FIGURE 24

Puissance surfacique intégrée sur une largeur de bande de 100 MHz selon le type de modulation



1633-24

Sur la Fig. 24, un décalage de fréquence de 0 MHz signifie que l'intégration sur 100 MHz part de 10,7 GHz (et donc se termine à 10,6 GHz), et de même un décalage de fréquence de 30 MHz signifie que l'intégration sur 100 MHz part de 10,67 GHz (et donc se termine à 10,57 GHz).

D'après la Fig. 24, avec les hypothèses formulées sur la décroissance du signal, le niveau de seuil pour des observations du continuum, c'est-à-dire $-160 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$, devrait être satisfait avec la mise en oeuvre d'une bande de garde d'au moins 15 MHz entre les deux services. Une hypothèse différente sur la décroissance du signal pourrait avoir pour résultat l'exigence d'une bande de garde plus grande.

Donc, pour conclure sur une possible séparation de fréquence qui rendrait les deux services compatibles dans cet exemple, il faudrait valider les hypothèses sur la décroissance du signal.

4.3.2 Exemple de la Région 2 pour les systèmes à satellites OSG

En novembre 1993, l'Observatoire national américain de radioastronomie (NRAO, *United States National Radio Astronomy Observatory*) a effectué une enquête sur la ceinture géostationnaire entre 152° O et 7° O dans la bande 10,68-10,7 GHz, en utilisant son télescope de 43 m de Green Bank, Ouest Virginie (désaffecté depuis), pour déterminer les niveaux d'émission qui pourraient être présents, et déterminer si cette portion du ciel était libre d'émissions au moins 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 la bande 10,75-10,95 GHz conformément à l'Appendice 30B du RR pour fournir des liaisons de connexion pour une application SMS. Dans un autre cas, un exploitant a fourni des données sur les performances espérées 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 procurant un affaiblissement juste au-dessus de 40 dB dans la bande 10,6-10,7 GHz ont été installés pour un coût significatif pour les exploitants, pour satisfaire des préoccupations nationales de protection des services passifs. Les satellites génèrent des brouillages dans la bande 10,68-10,7 GHz à partir de deux sources indépendantes:

- Un bruit thermique rayonné généré dans un amplificateur à tube à ondes progressives (ATOP). Le cas le plus défavorable de p.i.r.e. de bruit de tube thermique qui a été mesuré 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 surfacique de $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$, après soustraction d'un affaiblissement géométrique de $-163,2 \text{ dB(W/m}^2)$;
- des produits d'intermodulation dans les porteuses générés par des non-linéarités dans l'ATOP. La bande 10,75-10,95 GHz de liaison descendante est subdivisée en 27 sous-bandes, chacune d'elles transportant un nombre variable de porteuses radioélectriques. Dans des conditions de charge de pointe, approximativement 600 porteuses seront activées simultanément et distribuées sur les sous-bandes. Pour estimer le niveau d'intermodulation tombant dans la bande attribuée au SRA, une simulation du cas le plus défavorable a été faite dans des sous-bandes qui étaient remplies d'un bruit gaussien pour simuler la présence de nombreuses porteuses, et l'amplificateur ATOP a été mis en fonctionnement au niveau maximum de charge. La simulation utilisée mesurait les caractéristiques de transfert d'entrée-sortie de l'amplificateur ATOP et il en résultait un niveau de crête de densité spectrale de puissance surfacique de produits d'intermodulation (comprenant tous les ordres de produits d'intermodulation) dans la bande 10,69-10,70 GHz de $-223,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$. Le cas le plus défavorable moyen de densité spectrale de puissance surfacique d'intermodulation sur cette bande est de $-231 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$. Les valeurs pour le reste de la bande du SRA sont inférieures d'environ 5 dB (c'est-à-dire une crête de $-228,0$ et une moyenne de $-236,0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$).

L'intermodulation est générée 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 intercorrélacion minimale entre les porteuses. Il y a des milliers de produits indépendants individuels distribués tout le long de la bande attribuée à la radioastronomie. Les porteuses radioélectriques elles-mêmes ne sont activées que lorsque de la parole est présente, 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 à large bande.

Les porteuses radioélectriques sont assignées en fonction de la demande en cas de besoin, et sont inactivées autrement. Il en résulte que le cas le plus défavorable va se présenter pendant les heures ouvrables d'un jour de travail normal, ce qui survient typiquement douze heures par jour. La nuit, les week-ends et pendant les vacances, la charge de pointe sera largement réduite. Cette réduction de charge fait passer le fonctionnement de l'amplificateur ATOP dans une région plus linéaire en réduisant le niveau d'intermodulation. Moins de porteuses radioélectriques réduit le nombre de produits d'intermodulation. Pendant ces périodes creuses, la densité spectrale de puissance surfacique d'intermodulation est réduite d'au moins 40 dB, ou 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 ont une distribution gaussienne de large bande. Le cas le plus défavorable de moyenne de densité spectrale de puissance surfacique à travers la bande 10,6-10,69 GHz est estimé à $-225,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$, et atteint $-221,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ à 10,7 GHz. Pendant les périodes de charge de trafic légère, la densité spectrale de puissance surfacique moyenne sur la totalité de la bande est estimée à $-226,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$.

4.3.2.1 Simulation par ordinateur

Une étude fondée sur une simulation par ordinateur a démontré que la mise en vigueur de tout allotissement de l'Appendice 30B du RR causerait des brouillages au-dessus du niveau de seuil de puissance surfacique du continuum (voir liste au § 1.3) pour tous les radiotélescopes se trouvant dans la visibilité de la station spatiale. L'étude a mis en évidence que la plus grosse portion de la puissance des rayonnements non désirés tombant dans la bande 10,6-10,7 GHz survient au bord de la bande. Il faut souligner que l'utilisation de la Recommandation UIT-R SM.1541 pour établir le niveau des émissions hors bande surestime le niveau des rayonnements non désirés, car cela représente l'intégration sur un gabarit de cas le plus défavorable. Des études supplémentaires sont nécessaires sur la base d'un gabarit représentant les performances typiques des rayonnements non désirés.

4.3.3 Systèmes à satellites non OSG

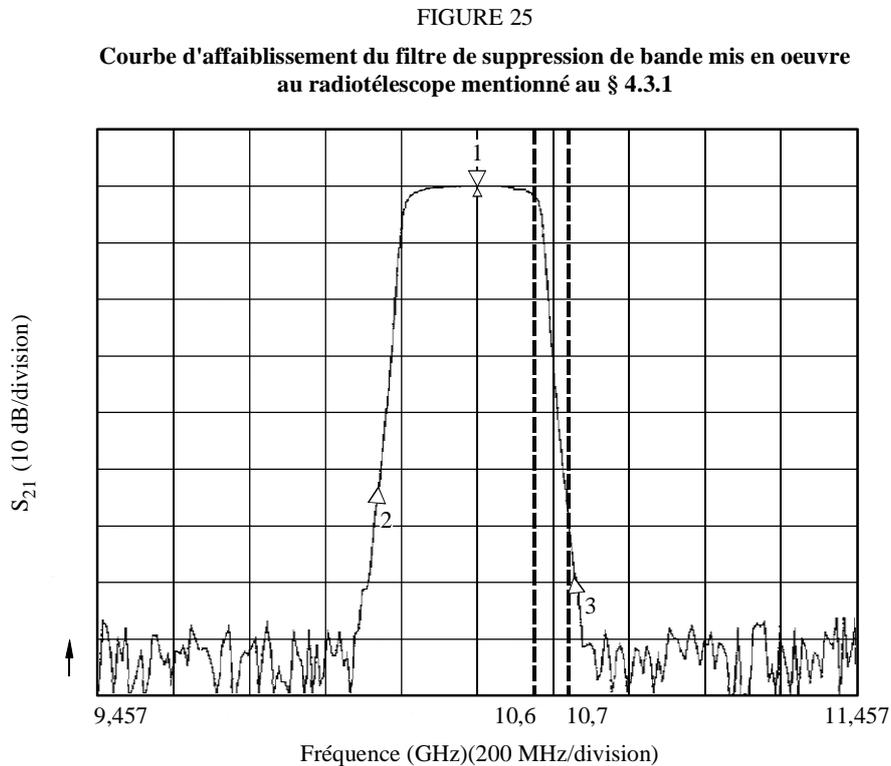
Jusqu'à présent, aucun système à satellites non OSG ne fonctionne dans la bande 10,7-10,95 GHz, mais plusieurs sont en projet et devraient commencer à fonctionner dans un proche avenir. Des calculs préliminaires ont été effectués pour un de ces systèmes (F-SATMULTI B), en utilisant la méthode de la puissance surfacique équivalente (epfd) (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, des valeurs de filtrage entre 30 dB et 40 dB seraient nécessaires pour protéger le SRA dans la bande 10,7 GHz contre les rayonnements non essentiels de ce système au niveau de $-240 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ dans une largeur de bande de 100 MHz. Ce résultat est cohérent avec le premier exemple de système OSG décrit plus haut.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

Afin de continuer les observations du SRA dans la situation de brouillage décrite au § 4.3.1, un filtre a été introduit à l'extrémité avant du récepteur du radiotélescope. Les spécifications du 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 l'affaiblissement d'insertion minimal.

Les amplificateurs fondés sur des transistors à effet de champ pourraient être reréglés à une fréquence légèrement inférieure sans perte de gain ou augmentation du facteur de bruit. Un bon filtre disponible sur le marché pourrait être trouvé. La Fig. 25 montre la fonction de transfert du filtre, telle que fournie par le fabricant.



Le marqueur 3 de la Fig. 25 est réglé à la fréquence centrale nominale de l'émission brouilleuse du satellite, qui est 10,714 GHz. A noter que l'attribution au SRA de la bande 10,6-10,7 GHz est marquée par des lignes en tirets.

On peut noter que le filtre décrit ci-dessus, qui a été conçu pour protéger le récepteur de radioastronomie, donne 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 technologiques des filtres, de meilleurs chiffres pourraient être obtenus, mais les instruments actuellement disponibles exigent que soit fait un glissement de fréquence d'au moins 100 MHz.

On notera aussi que des observations du SRA utilisables pourraient être effectuées à Effelsberg dans une bande de fréquences d'environ 10,5 GHz, qui est attribuée au service fixe de Terre, et dans laquelle des brouillages ne sont signalés qu'occasionnellement. Ceci ne peut pas s'appliquer à d'autres pays à cause de leur utilisation particulière du service fixe dans cette bande.

5.2 Le service actif

Un certain nombre de méthodes de réduction des brouillages possibles peuvent être mises en œuvre pour minimiser l'impact sur le service passif. Elles sont énumérées dans la Recommandation UIT-R SM.1542. Certains cas spécifiques qui ont été appliqués pour protéger les services passifs fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz sont donnés ci-dessous:

- Une administration a trouvé que, alors que les limites de brouillage de la Recommandation UIT-R RA.769 ont fourni une protection contre le brouillage du fonctionnement du SRA, on pourrait obtenir plus de souplesse en exigeant que les fournisseurs de SFS non OSG se coordonnent et réalisent un accord mutuellement acceptable avec les installations du SRA qui utilisent la bande 10,6-10,7 GHz, garantissant que ces installations soient adéquatement 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 détenteurs de licences d'utilisation d'orbites non géostationnaires dans le service fixe par satellite (espace vers Terre) doivent avant de commencer leurs opérations, se coordonner avec les observatoires de radioastronomie suivants pour réaliser un accord mutuellement acceptable au sujet de la protection des installations de radiotélescope fonctionnant dans la bande 10,6-10,7 GHz» (NOTE 1 – A cet endroit du renvoi figure un tableau des sites de radioastronomie)

- Une contribution suggère d'envisager l'établissement d'une bande de garde entre la bande SFS et la bande SRA (voir les considérations sur ce problème au § 4.3.1). Les résultats de l'examen bande par bande peuvent conclure que la seule option est de chercher à mettre en œuvre une bande de garde entre le SFS et le SRA. 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 toute bande de garde imposée au SFS aurait un impact sur le Plan de l'Appendice 30B du RR. De même, toute bande de garde imposée au SRA aurait pour résultat une augmentation des temps de mesure, réduisant ainsi l'utilisation des stations du SRA.

De même, si l'on étend l'attribution au SRA au-dessous de 10,6 GHz, ce qui devrait permettre au service au SRA de fonctionner correctement dans une largeur de bande de 100 MHz, cela peut avoir un impact sur les services fonctionnant au-dessous de 10,6 GHz.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Du point de vue de la radioastronomie, il est techniquement impossible de filtrer les brouillages dont il est question au § 4.3.1. Même un système SRS/SFS bien conçu forcerait les observatoires de radioastronomie à insérer des filtres aux extrémités avant des récepteurs. Celles qui sont utilisées aujourd'hui dans les observatoires radio contiennent normalement des amplificateurs transistors à mobilité électronique élevé (HEMT, *high electron mobility transistors*) refroidis, qui sont large bande par nature. La bande passante de l'amplificateur de premier étage glisse lentement hors de la bordure de la largeur de bande nominale. Les émetteurs de satellite en particulier, qui viennent assez près de la direction d'observation, risquent de causer des non-linéarités du système récepteur; le filtrage peut donc être nécessaire avant le premier étage d'amplification de l'extrémité avant du récepteur. Dans la conception des récepteurs de radioastronomie, cependant, on peut toujours essayer d'éviter l'affaiblissement de transmission, ce qui élève la température de bruit du récepteur. Cet affaiblissement devrait survenir lorsqu'une bande de garde insuffisante est prise en compte pour protéger les observations de radioastronomie, et aussi parce qu'aux fréquences considérées, la technologie des filtres n'est pas suffisamment développée.

5.3.2 SFS

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. Compenser cette perte exige une augmentation de la taille de l'amplificateur à forte puissance, avec les conséquences que cela a sur la conception de la station spatiale (coût, poids, puissance, fiabilité).
- L'insertion d'un filtre a un impact sur la réponse de phase du signal dans la bande. Si les niveaux de tolérance de phase du récepteur sont dépassés, les performances de la liaison en seront affectées même s'il y a une puissance suffisante au récepteur.
- L'ajout d'un filtre augmente la complexité de la conception de la station spatiale et du programme d'essai.

De plus, si on utilise une antenne active en réseau à commande de phase, des filtres peuvent être nécessaires pour chaque élément d'antenne.

Pour les systèmes à satellites multifaisceaux dont le fonctionnement est prévu dans les gammes de fréquences qui nous intéressent, le nombre de faisceaux ou le nombre d'éléments dans le système d'antenne en réseau à commande de phase multiplie les conséquences en termes de coût et de poids des filtrages RF 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 filtrés séparément. Dans un système du type réseau à commande de phase, le dernier étage d'amplification a lieu dans les divers éléments du réseau, et chacun d'eux devra être filtré séparément. De cette façon, le nombre de faisceaux accentue l'impact en poids d'un filtre individuel dans le système, ou du nombre d'éléments dans un réseau à commande de phase. L'affaiblissement d'insertion du filtre peut affecter la capacité du système.

L'isolement géographique impliquerait l'utilisation d'une décroissance rapide du diagramme d'antenne du satellite pour assurer que l'isolement requis satisfait à un critère de partage approuvé sur un site particulier de récepteur de radioastronomie. Cette technique suppose tacitement 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 faisceau ponctuel peuvent être capables d'utiliser l'isolement géographique; cependant, dans la perspective des systèmes à satellites, ce n'est pas une solution séduisante car certaines zones de la Terre n'auraient pas accès au service par satellite. De telles limitations des zones du SFS pourraient avoir des implications sérieuses en termes de revenu. Cependant, cette solution a l'avantage de tenir compte des exigences réelles de protection des sites spécifiques de radioastronomie, sans qu'il soit besoin de se référer aux critères de cas le plus défavorable à chacun de ces sites.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Dans la Région 2, les procédés de conception et les méthodes de réduction des brouillages actuellement disponibles ont protégé le SRA dans la bande 10,6-10,7 GHz contre le nombre limité de stations spatiales SFS déployées actuellement. Dans les cas où l'utilisation du Plan de l'Appendice 30B du RR peut avoir créé des brouillages sur les observations de radioastronomie, les pressions exercées par d'autres pays ont amené à corriger la situation. Cependant, le développement de futures stations spatiales qui ne chercheraient pas systématiquement à protéger les radiotélescopes pourrait avoir un effet négatif sur leur fonctionnement.

Dans la Région 1, la juxtaposition de bandes attribuées au SRA et au SFS ou au SRS, pour être utilisées à l'émission de signaux dans le sens espace vers Terre, a donné lieu à une situation de brouillage difficile dans certains pays – de celles qui ne peuvent se résoudre que par la mise en place d'une bande de garde entre les deux services. Dans cette bande, les critères de protection dont la liste figure au § 1.3 sont satisfaits par le service actif pour le cas VLBI, mais pas pour le cas du continuum à antenne unique. Des méthodes de réduction des brouillages ont été utilisées dans la Région 2 pour satisfaire au niveau du continuum à antenne unique. Cependant, il y a actuellement dans la Région 1 des cas persistants de brouillage nuisible.

Aucune donnée n'a été reçue et aucune étude n'a été faite pour la Région 3.

6.2 Conclusions

Dans la Région 1, les critères de protection sont satisfaits pour le cas VLBI, mais pas pour les observations du continuum ou de raies spectrales à antenne unique. Dans la Région 2, les critères de protection sont satisfaits pour le cas VLBI.

Annexe 11

Analyse de compatibilité entre le SETS (passive) dans la bande 21,2-21,4 GHz et les systèmes du SFS (espace vers Terre) et du SMS (espace vers Terre) dans la bande 20,2-21,2 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

Le Tableau 24 donne une liste des attributions dans la bande 21,2-21,4 GHz et dans les bandes adjacentes.

TABLEAU 24

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Service dans la bande attribuée supérieure
20,2-21,2 GHz	21,2-21,4 GHz	21,4-22 GHz
FIXE par SATELLITE (espace vers Terre) MOBILE par SATELLITE (espace vers Terre) Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (espace vers Terre) 5.524	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) FIXE MOBILE RECHERCHE SPATIALE (passive)	FIXE MOBILE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE (Régions 1 et 3) 5.530 5.531

NOTE 1 – A la différence des autres bandes, cette attribution n'est pas exclusive. L'attribution au SRS par satellite ne prendra pas effet avant le 1er avril 2007.

1.2 Application (type d'observation)

Cette bande était utilisée sur le satellite expérimental Nimbus-7. La bande 23,6-24 GHz est utilisée sur le sondeur hyperfréquences perfectionné (SHP). Les caractéristiques de l'antenne du SHP seront supposées pour cette bande parce qu'elle devrait être utilisée pour d'autres mesures sur cet instrument et parce que c'est une bande de remplacement de la bande 23,6-24 GHz.

Cette bande et la bande 23,6-24 GHz sont utilisées pour des mesures de la vapeur d'eau et de l'eau liquide. Elles sont donc utilisées à la fois pour des mesures de surface et des mesures atmosphériques. Elles sont de part et d'autre de la raie spectrale de vapeur d'eau à 22,235 GHz. Les mesures atmosphériques sont utilisées avec les mesures de température de l'oxygène, O₂, pour l'effet de la vapeur d'eau sur les profils de température.

1.3 Critères de protection requis

Trois Recommandations établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs; à savoir:

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Le Tableau 25 donne les caractéristiques de fonctionnement du détecteur à l'étude.

TABLEAU 25

Paramètres du détecteur de balayage du sondeur hyperfréquences perfectionné

Paramètre	Valeur
Altitude (km)	850
Orbite	Polarisation synchrone au soleil
Gain d'antenne du lobe principal (dBi)	36
Ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB (degrés)	3,3
Gain de lobe arrière et de lobe latéral (dBi)	-10
Diamètre de pixel au nadir (km)	49
Pixels par balayage	90
Largeur de balayage (km)	2 300

2 SFS (espace vers Terre) et SMS (espace vers Terre)

2.1 Bande d'émission attribuée

Voir le Tableau 24.

2.2 Application

Les services actifs considérés dans la présente Annexe sont le SFS (espace vers Terre) et le SMS (espace vers Terre) dans la bande 20,2-21,2 GHz.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions du RR et Recommandations de l'UIT-R

2.3.1 Numéro 1.153 du RR

Le RR définit la *largeur de bande occupée* comme suit:

«**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 supérieur de la largeur de bande occupée était à la limite supérieure ou au-dessous 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. Donc, la puissance totale de rayonnement non désiré aux fréquences de la bande SETS et au-dessus n'est pas supérieure à $P - 23$ dB.

2.3.2 Recommandation UIT-R SM.1541

La Recommandation UIT-R SM.1541 donne des indications sur les rayonnements non désirés tombant en dehors de la largeur de bande attribuée.

2.3.3 Recommandation UIT-R SM.329

La Recommandation UIT-R SM.329 donne des informations sur les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels.

Même si des niveaux sont donnés pour les rayonnements non essentiels à bande étroite ou à large bande, on notera que, sauf pour les composants non essentiels, les rayonnements décroissent au-delà du domaine des émissions hors bande. Pour les besoins de la présente analyse, nous considérerons que les émissions décroissent de 40 dB par décade. L'impact des rayonnements non essentiels sera traité comme celui de composants accumulés de plusieurs émetteurs.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les caractéristiques de l'émetteur sont tirées de la Recommandation UIT-R S.1328 –Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et systèmes à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS), y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS). Cette Recommandation récapitule une série de systèmes à satellites qui sont représentatifs des systèmes dont on prévoit le déploiement dans diverses bandes.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Vingt-six systèmes du SFS ou du SMS ont été spécifiés dans la référence pour une utilisation dans la bande 20,2-20,4 GHz. Sont inclus aussi bien des systèmes OSG que non OSG.

Aucun des systèmes non OSG indiqués ne fonctionne entre 19,7 et 20,3 GHz. La liste ci-dessous donne les caractéristiques des systèmes qui fonctionnent au-dessous de 19,7 GHz. En dépit de l'absence de système répertorié, le fonctionnement de systèmes non OSG n'est pas interdit dans cette bande.

2.6 Niveau d'émission dans la bande

Voir les Tableaux 26 et 27.

TABLEAU 26

Caractéristiques des liaisons descendantes de stations spatiales OSG

Système	GSO-20	GSO-30	GSO-F	GSO-13
Service	SFS/SMS	SFS	SMS	SFS
Polarisation	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite		Circulaire droite/gauche
Modulation	AMRF/MDP-4	Phase	MRF/MRT/MDP-4	
Largeur de bande (MHz)	1,8	3 200	125	81
p.i.r.e. (dBW)	57	74	61,8	59,5
Gain d'antenne (dBW)	40,9	55	49,0	46,5
Nombre de satellites	Inconnu	12	Inconnu	17

TABLEAU 27

Caractéristiques des liaisons descendantes de stations spatiales non OSG

Système	LEO A	LEO B	LEO SAT-1	Quasi-GSO 31
Service	SMS	SMS	SFS	SFS
Orbite	Circulaire	Circulaire	Circulaire	Elliptique
Altitude (km)	780	10 355	700	1 000-43 000
Inclinaison (degrés)	86	50	98,2	63
Satellites dans le plan	11	4	40	1
Plans	6	3	21	8
Séparation dans le plan (degrés)	32,7	90	9	–
Phasage de plan (degrés)	31,6	30	Aléatoire	Variable
Polarisation	Circulaire gauche	Circulaire droite	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite
Modulation	AMRF/MDP-4	AMRC	MDP-4 modelé AMRF	Phase
Largeur de bande (MHz)	4,37	2,5	500	3 200
p.i.r.e. (dBW)	15	5,31	47,5	74
Gain d'antenne (dBi)	26,9	35,7	28,9	55

3 Seuil de compatibilité

Il existe deux critères pour la bande 21,2-21,4 GHz. Tout d'abord, il y a un seuil de puissance de -163 dBW sur 100 MHz. Ceci est un niveau de brouillage maximum en provenance de toute source. Ensuite, le critère de disponibilité est de 99% de toutes les cellules de mesure ou 1% de perte de pixels de mesure.

Le brouillage peut être reçu de différentes sources émanant simultanément de multiples services. La valeur qui figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau maximum admissible de brouillage pour le détecteur passif.

La présente Annexe analyse le brouillage généré par un service passif unique. Il sera donc nécessaire de procéder à des travaux complémentaires pour étudier l'impact de services actifs multiples au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Le niveau de brouillage des rayonnements non désirés est calculé pour chaque satellite du service SFS au § 4.2.2.

4.1.1 Utilisation du gabarit présenté dans la Recommandation UIT-R SM.1541 pour déterminer les émissions hors bande

L'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R SM.1541 spécifie un gabarit générique pour les émissions hors bande pour les stations terriennes et spatiales du service SFS. Il est de la forme:

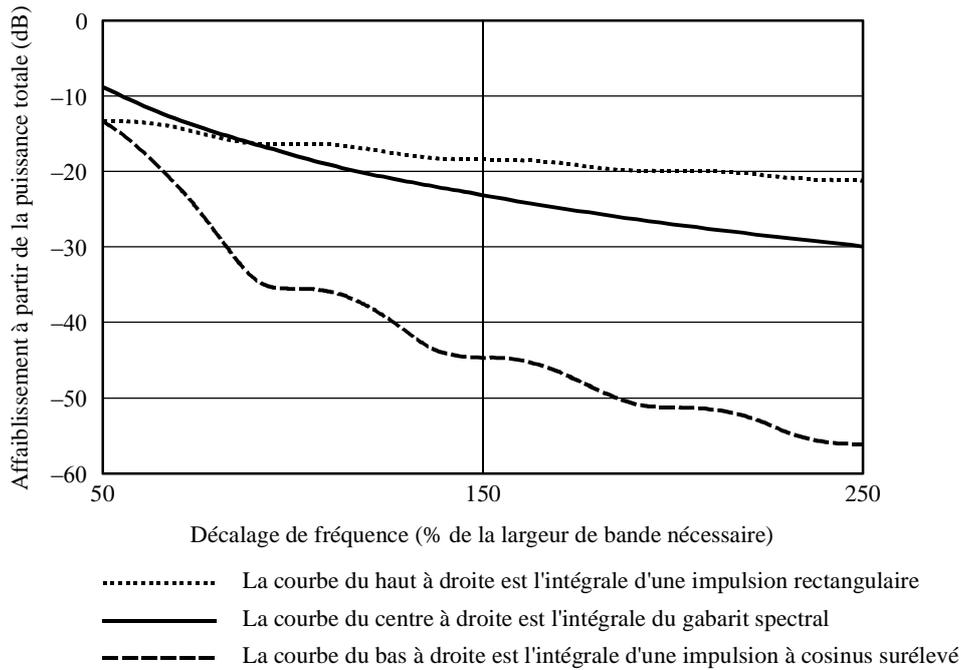
$$40 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \quad (\text{dBsd})$$

où F est le décalage en fréquence par rapport au bord de la bande assignée totale, exprimé sous la forme d'un pourcentage de la largeur de bande nécessaire de l'attribution ou du répéteur inférieur, en prenant la valeur la plus basse. Le gabarit des émissions hors bande décroît jusqu'à la frontière des rayonnements non essentiels ou jusqu'à ce qu'il soit égal à la limite des rayonnements non essentiels donnée de l'Appendice 3 du RR (voir l'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R SM.1541). Il donne l'affaiblissement minimum pour les émissions hors bande par rapport à la densité spectrale de puissance maximum dans la bande assignée adjacente. L'intégration de ce gabarit pour la puissance hors bande est donnée à la Fig. 26. Cette Figure comporte aussi l'intégrale d'une impulsion rectangulaire et d'une impulsion modelée en cosinus surélevé.

L'intégration ci-dessus est la puissance provenant du pourcentage spécifié de la largeur de bande nécessaire jusqu'à l'infini. Cependant, dans les cas où la largeur de bande nécessaire des émissions est forte, la largeur de bande du détecteur passif n'en est qu'un faible pourcentage. Pour une largeur de bande de 500 MHz, le détecteur passif couvre seulement 20% de sa largeur de bande. Pour un système avec une largeur de bande de 3 200 MHz, le détecteur passif ne couvre que 3% de la largeur de bande nécessaire. La puissance dans la largeur de bande du détecteur passif est inférieure à ce qui est indiqué sur la Figure. La puissance peut être réglée pour s'adapter à cela. Pour la situation où seule la largeur de bande nécessaire est dans la bande active, la bande passive s'étend du point à 50% jusqu'au point à 70% pour le système à 500 MHz et du point à 50% au point à 53% pour le système à 3 200 MHz. Pour ces cas, les puissances sont indiquées au Tableau 28.

FIGURE 26

Puissance relative selon le décalage de fréquence



1633-26

TABLEAU 28

Puissance relative dans une largeur de bande de détecteur passif

Largeur de bande nécessaire (MHz)	Gabarit spectral de la Recommandation UIT-R SM.1541 (dB)	Impulsion rectangulaire (dB)	Impulsion en cosinus surélevé (dB)
125	-9,1	-15,4	-13,7
500	-10,8	-20,5	-14,4
3 200	-16,7	-44,4	-21,8

4.1.2 Hypothèse de la non-extension de la largeur de bande occupée au-delà de la bande attribuée au service spatial

Si un niveau de puissance de rayonnement non désiré $P - 23$ dB ne provoque pas de brouillage excessif, une solution possible de réduction des brouillages consiste à garder la largeur de bande occupée dans la bande attribuée. (Voir le numéro 1.153 du RR).

4.1.3 Seuil de brouillage

Le seuil de brouillage du service passif d'après la Recommandation UIT-R SA.1029 est de -163 dBW sur 100 MHz pour les détecteurs fonctionnant près de 20 GHz.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

4.2.1 Trajet de brouillage direct

Le Tableau 29 donne une évaluation des niveaux de rayonnements non désirés produits par les satellites SFS dans les récepteurs SETS via un trajet radioélectrique direct en provenance de l'émetteur SFS via le lobe arrière de l'antenne du détecteur SETS, pour les systèmes SFS OSG, et le Tableau 30 pour les systèmes SFS non OSG. Ces calculs indiquent le niveau quantitatif d'affaiblissement spectral, le cas échéant, qui serait nécessaire si les émissions étaient sur le même canal.

TABLEAU 29

Niveau de puissance brouilleuse provenant de réseaux à satellite OSG du SFS

Réseau à satellite SFS	GSO-20	GSO-30	GSO-F	GSO-13
Altitude SFS (km)	35 786	35 786	35 786	35 786
Altitude SETS (km)	850	850	850	850
Distance de séparation (km)	34 936	34 936	34 936	34 936
Puissance d'émission SFS (dBW)	16	19	13	13
Gain d'antenne SFS (dBi)	40,9	55,0	49,0	46,5
p.i.r.e. SFS (dBW)	57	74	61,8	59,5
Largeur de bande SFS (MHz)	1,8	3 200	125	81
Largeur de bande SETS (MHz)	100	100	100	100
p.i.r.e. dans la largeur de bande SETS (dBW)	74,4	58,9	60,8	60,4
Gain du lobe arrière de l'antenne SETS (dBi)	-10	-10	-10	-10
Affaiblissement en espace libre à 23,6 GHz (dB)	210,8	210,8	210,8	210,8
Niveau de brouillage cocanal (dBW)	-146,3	-161,8	-159,9	-160,4
Critère de brouillage SETS (dBW)	-163	-163	-163	-163
Différence entre niveau de brouillage et critère SETS (dB)	-16,7	-1,2	-3,1	-2,6

Ces calculs supposent que le satellite SFS soit directement au-dessus du satellite SETS et que les rayonnements non désirés reçus le soient via le lobe arrière de l'antenne du détecteur SETS, excepté dans le cas de LEO A et LEOSAT-1 où les satellites non OSG ont une altitude inférieure à celle du satellite SETS. Dans ces cas, une valeur de -10 dBi a été supposée pour le gain du lobe arrière du satellite non OSG dans la direction du SETS directement au-dessus de lui. Cependant, les effets d'écran par le corps du satellite n'ont pas été pris en compte dans ces calculs. Bien que les calculs pour ces deux satellites SFS non OSG se fondent sur un gain de -10 dBi pour le gain du lobe latéral du détecteur SETS, il existe une possibilité dans ces cas que le faisceau principal SETS puisse être pointé sur le satellite SFS non OSG au-dessous de lui, produisant de très hauts niveaux de brouillage dans le récepteur SETS pendant de courtes périodes de temps.

TABLEAU 30

Niveau de puissance brouilleuse provenant de réseaux à satellite non OSG du SFS

Réseau à satellite SFS	LEO A	LEO B	LEO SAT-1	Quasi-GSO 31	
Altitude SFS (km)	780	10 355	700	1 000	43 000
Altitude SETS (km)	850	850	850	850	850
Distance de séparation (km)	70 ⁽¹⁾	9 505	150 ⁽¹⁾	150	42 150
Puissance d'émission SFS (dBW)	-12	-30	19	19	19
Gain d'antenne SFS (dBi)	-10,0	35,7	-10,0	55,0	55,0
p.i.r.e. SFS (dBW)	15	5,31	47,5	74	74
Largeur de bande SFS (MHz)	4,37	2,5	500	3 200	3 200
Largeur de bande SETS (MHz)	100	100	100	100	100
p.i.r.e. dans la largeur de bande SETS (dBW)	28,6	21,3	40,5	58,9	58,9
Gain du lobe arrière de l'antenne SETS (dBi)	-10	-10	-10	-10	-10
Affaiblissement en espace libre à 23,6 GHz (dB)	156,8	199,5	163,4	163,4	212,4
Niveau de brouillage cocanal (dBW)	-138,2	-188,1	-132,9	-114,5	-163,5
Critère de brouillage SETS (dBW)	-163	-163	-163	-163	-163
Différence entre niveau de brouillage et critère SETS (dB)	-24,8	25,1	-30,1	-48,5	0,5

⁽¹⁾ Dans ce cas, le satellite non OSG du SFS est au-dessous du satellite SETS.

4.2.2 Brouillage par diffusion vers l'arrière

Une autre forme de puissance brouilleuse sur le service passif à prendre en compte est le cas où les émissions hors bande du SFS sont diffusées de la surface de la Terre vers le haut en direction d'un détecteur SETS proche. Pour les fréquences autour de 20 GHz, l'énergie diffusée a une composante spéculaire significative. Et donc, le maximum de brouillage va se produire lorsque:

- le détecteur est en vue d'une zone de couverture du SFS;
- le satellite SFS, le détecteur, le centre de la Terre, et l'intersection des faisceaux du SFS et du détecteur se trouvent tous dans le même plan;
- l'intersection des faisceaux du satellite SFS et du détecteur se trouve entre les nadirs du satellite SFS et du détecteur; et
- l'axe du faisceau du satellite SFS et l'axe du faisceau du détecteur coupent la Terre avec le même angle.

Bien que des modèles aient été construits pour évaluer les niveaux potentiels de rayonnements non désirés du SFS sur les récepteurs SETS dus à ce mode de propagation par diffusion vers l'arrière, la précision de tels modèles demande un examen complémentaire. (Voir l'Appendice technique à l'Annexe 1.)

4.3 Valeurs obtenues

La différence entre les critères de protection du SETS contre les brouillages et la puissance brouilleuse cocanal pour les satellites non OSG va de $-48,5$ dB à l'absence de brouillage. La différence entre les critères de protection du SETS contre les brouillages et la puissance brouilleuse cocanal pour les systèmes OSG est compris entre $-1,2$ et $-16,7$ dB.

Les niveaux de rayonnements non désirés tombant dans la largeur de bande SETS peuvent être réduits par l'application des gabarits d'émission hors bande décrits au § 4.1.1 ou en gardant la largeur de bande occupée à l'intérieur de la bande attribuée, comme décrit au § 4.1.2.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Les services passifs ne provoquent aucun brouillage aux autres services et ne peuvent donc appliquer de techniques de réduction des brouillages, si ce n'est de sacrifier la qualité et la disponibilité des données. Cependant, cette bande est une des quatre qui sont si sensibles et critiques pour les prévisions météorologiques que tout compromis sur la qualité et la fiabilité des données résultant d'émissions hors bande excessives risque de compromettre la sécurité publique lors de conditions météorologiques dangereuses (par exemple, inondations, tempêtes).

5.2 SFS et SMS

- Bandes de garde – C'est un décalage du canal le plus proche par rapport au bord de la bande attribuée.
- Réduire les émissions spectrales en utilisant des techniques de modulation et un filtrage plus efficaces. Noter sur la Fig. 26 que la forme d'onde de l'impulsion à cosinus surélevé présente un risque de brouillage bien moins élevé que l'impulsion rectangulaire ou le gabarit spectral.
- Réviser le gabarit recommandé pour mieux se conformer au spectre réel et donner au service passif une limite garantissant l'absence de brouillage.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

La perte de ces données due à un excès d'émissions hors bande pourrait être considérée comme irrévocable et permanente dans la mesure où la contamination RF ne s'améliore presque jamais et empire toujours. Ces données sont si critiques pour les prévisions météorologiques et climatiques qu'elles ne peuvent être compromises sans impact sur la sécurité publique.

5.3.2 SFS et SMS

Les techniques de réduction des brouillages pour les systèmes qui sont utilisés actuellement peuvent ne pas toujours être pratiques. L'amélioration de l'efficacité du spectre ou l'utilisation de bandes de garde peut être coûteuse du point de vue du matériel ou de la capacité des canaux, mais peut aussi avoir pour effet d'améliorer l'efficacité et la capacité des canaux. Le dernier impact sera vraisemblablement financier avec les coûts supplémentaires d'exploitation et une réduction des services aux utilisateurs.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La présente étude portait sur la compatibilité entre le SETS (passive) dans la bande 21,2-21,4 GHz et les SMS et SFS (espace vers Terre) dans la bande 20,2-21,2 GHz. Les caractéristiques des systèmes mobiles et fixes dans la bande 21,2-22 GHz ne sont pas disponibles. Des études complémentaires sont nécessaires.

6.2 Conclusions

Sur la base de cette analyse de compatibilité, en supposant qu'un gabarit approprié d'émissions hors bande soit appliqué ou que la largeur de bande occupée du SFS soit contenue entièrement dans la bande attribuée au SFS, il apparaît que la compatibilité peut être réalisée dans tous les cas sauf deux qui impliquent des satellites SFS non OSG. Une analyse dynamique de ces deux cas, pour déterminer la disponibilité du SETS, peut résoudre la question de la compatibilité dans ces deux cas.

Annexe 12

Analyse de compatibilité entre systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 22,21-22,5 GHz et systèmes du SRS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 21,4-22 GHz

1 Radioastronomie

1.1 Bande attribuée

La bande 22,21-22,5 GHz est attribuée à titre primaire au SRA.

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».

1.2 Type d'observations

La bande de fréquences est utilisée par le SRA à la fois pour des observations du continuum et pour des observations des 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, le Tableau 31, et la Liste de raies spectrales importantes de l'Union astronomique internationale).

Les transitions de la molécule d'eau dans cette bande sont observées à l'aide de techniques aussi bien à antenne unique que VLBI.

1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations radioastronomiques et donne des niveaux de seuil de brouillage nuisible pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie.

Pour la bande 22,21-22,5 GHz, la limite du seuil de puissance surfacique donnée dans la Recommandation UIT-R RA.769 pour les observations de raies à antenne unique 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 de seuil de puissance surfacique de $-146 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ est définie pour les observations du continuum à antenne unique dans cette bande, faites en utilisant la totalité de la largeur de bande de 290 MHz.

Les observations VLBI, où les signaux d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables aux brouillages. Ceci se reflète dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $-128 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, pour une largeur de bande de 250 kHz.

Pour les 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 SFS et dans la Recommandation UIT-R M.1583 pour les systèmes SMS et SRNS.

Les seuils des niveaux de brouillage nuisible pour le SRA, 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 même finalement être détruites. En principe, dans des circonstances idéales, si ces niveaux sont très légèrement dépassés, l'observatoire de radioastronomie peut compenser en accroissant le temps d'observation. Ce faisant, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du débit des données scientifiques. Si le niveau de brouillage, avec les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passe à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra alors plus de garantir que des données scientifiques valables sont fournies aux scientifiques. La station de radioastronomie sera incapable de fonctionner dans la bande de fréquences affectée, et sa capacité à fournir le service aura été perdue si des techniques de réduction des brouillages ne peuvent être appliquées.

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. Elles peuvent être des expériences sur des émissions du continuum, sur des raies spectrales, ou VLBI. Les observations dans cette bande sont parfois effectuées sur des cibles occasionnelles, par exemple sur des objets tels que des comètes. Les observations VLBI de raies spectrales 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 (typiquement de 256 à 4 096) canaux de fréquences distribués sur la bande. Le nombre de canaux et leurs largeurs de bande individuelles sont choisis pour échantillonner de façon adéquate le spectre du rayonnement net du ou des nuages d'hydrogène sur 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 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 ayant leur origine à la source sont séparés des autres contributions à la sortie du récepteur.

Dans le cas d'observations de raies spectrales, les spectres sont enregistrés sur les gammes de fréquences y compris les rayonnements de raies présentant un intérêt (les spectres de raies), et donc à une fréquence qui est la reproduction des rayonnements des raies, ou à la même fréquence mais à une position voisine dans le ciel (le spectre de référence). En soustrayant le spectre de référence du spectre de raie, les contributions de bruit brouilleuses et les autres produits polluants peuvent être retirés des données.

On peut cartographier les zones 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 unique, chaque observation de point de grille est une indication de la puissance totale (en cas d'observation du continuum) ou du spectre d'émission (en cas d'observation de raies spectrales) venant 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 de synthèse, si la zone à cartographier dépasse le champ de cartographie instantanée, les points du quadrillage ne devraient pas être séparés de plus de la moitié de l'ouverture de faisceau de l'une des antennes du radiotélescope.

Les observations VLBI se font par conversion des signaux en bande de base; on les numérise sans démodulation, et on les enregistre sur une bande magnétique ou un autre support avec des signaux de synchronisation temporelle précis. Les données sont alors transmises à un centre de traitement des données VLBI où les signaux sont synchronisés et corrélés. Par conséquent, le plein effet des brouillages peut n'être pas découvert avant la fin de la période d'observation et le traitement des données.

2 SRS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande de fréquences de l'attribution de service actif est 21,4-22 GHz.

2.2 Service

La CAMR-92 a réattribué la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 au SRS (télévision numérique à haute définition (TVHD)) avec mise en œuvre après le 1er avril 2007. Cette bande a été identifiée pour le développement d'un futur plan d'allotissement.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions réglementaires

Annexe à la Résolution 525 (CAMR-92), Section III – Procédure intérimaire relative aux systèmes opérationnels du SRS (TVHD) mis en œuvre avant le 1er avril 2007.

La mise en oeuvre de systèmes opérationnels du SRS (TVHD) dans la bande 21,4-22,0 GHz dans les Régions 1 et 3 avant le 1er avril 2007 sera assujettie à la procédure de la Résolution 33 (CAMR-79) si la densité de puissance surfacique produite à la surface de la Terre par les émissions d'une station spatiale sur le territoire de tout autre pays est supérieure à:

- $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée entre 0° et 5° au-dessus du plan horizontal; ou
- $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque large de 1 MHz pour les angles d'arrivée entre 25° et 90° au-dessus du plan horizontal; ou
- des valeurs à calculer par interpolation linéaire entre ces limites pour les angles d'arrivée entre 5° et 25° au-dessus du plan horizontal,

Annexe à la Résolution 525 (CAMR-92), Section IV – Procédure intérimaire relative aux systèmes du SRS (TVHD) mis en oeuvre après le 1er avril 2007.

Afin que les systèmes du SRS (TVHD) puissent être mis en oeuvre 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, les procédures de la Section B (Procédure de coordination entre stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite et systèmes spatiaux relevant d'autres administrations) et de la Section C (Notification, examen et inscription dans le Fichier de référence des assignations aux stations spatiales du service de radiodiffusion par satellite traitées dans la présente Résolution) de la Résolution 33 (Rév.CMR-97) doivent être appliquées.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

On fait les hypothèses suivantes:

- le gain d'antenne du système SRS est le même dans la bande SRS et dans la bande SRA;
- les niveaux maximaux de densité spectrale de puissance surfacique/puissance surfacique sont utilisés pour les rayonnements non désirés provenant des systèmes SRS tombant dans la bande de la radioastronomie.

Ceci représente les hypothèses les plus défavorables qui pourraient être affinées par des études complémentaires.

De plus, la présente étude se fondait sur un système SRS unique, en raison du manque d'informations sur les autres systèmes au moment de l'étude. Ces caractéristiques pourraient être affinées par des études complémentaires.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

La présente Annexe ne traite que le cas des systèmes OSG. Le cas des systèmes non OSG devra être étudié ultérieurement.

2.6 Niveau d'émission dans la bande

Voir le § 2.3.

3 Seuil de compatibilité

Voir le § 1.3

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Voir le § 2.4.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

Les niveaux maximaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes 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 au Tableau 31.

TABLEAU 31

Niveaux maximaux de rayonnements non désirés des systèmes SRS

Bande (GHz)	Niveau maximum de densité spectrale de puissance surfacique des rayonnements non désirés à bande étroite (dB(W/(m ² · Hz)))	Niveau maximum de puissance surfacique des rayonnements non désirés à large bande (dB(W/(m ² · 290 MHz)))
22,21-22,5	-199	-145

4.3 Valeurs obtenues

Une comparaison entre les niveaux de seuil de puissance surfacique pour la protection du SRA dans la bande 22,21-22,5 GHz, donnés dans la Recommandation UIT-R RA.769 (voir le § 1.3), et les niveaux des rayonnements non désirés produits par les systèmes SRS donnés dans le Tableau 31, conduit aux résultats donnés au Tableau 32. Les valeurs négatives du Tableau 32 indiquent que les critères de protection pour le SRA ne sont pas satisfaits de la marge indiquée en dB.

TABLEAU 32

Différence entre les niveaux de seuil de puissance surfacique de la Recommandation UIT-R RA.769 sur le SRA et les niveaux de rayonnements non désirés du SRS

Type d'observation	Observations du continuum	Observations de raies spectrales	Observations VLBI
Différence entre les niveaux de seuil de puissance surfacique de la Recommandation UIT-R RA.769 pour le SRA et les niveaux de rayonnements non désirés du SRS (dB)	-1	-17	+15

D'après ce calcul, il résulte que pour des observations du continuum à antenne unique et de raies spectrales à antenne unique, les niveaux de seuil de la Recommandation UIT-R RA.769 ne sont pas atteints, avec des marges respectivement de 1 dB et 17 dB. Dans le cas d'observations de raies spectrales à antenne unique, une telle marge empêcherait effectivement toute observation utile dans la bande. On notera toutefois que les niveaux estimés des rayonnements non désirés provenant des systèmes SRS sont des valeurs maximales de densité spectrale de puissance surfacique.

Si on devait faire des calculs plus réalistes, incluant par exemple la suppression du filtre, la suppression des produits d'intermodulation et les gains réels des amplificateurs d'émission dans la bande attribuée à la radioastronomie, et en tenant compte de l'absorption atmosphérique, la discordance diminuerait, au moins jusqu'à satisfaire les critères de protection pour les observations VLBI et du continuum à antenne unique.

5 Méthodes de réduction des brouillages

5.1 SRA

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 du lobe latéral 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 maximise le rapport S/N 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 le gabarit d'enveloppe de lobe latéral donné dans la Recommandation UIT-R SA.509 est satisfait par la majorité des radiotélescopes dans la plupart des directions.

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

5.2 SRS

Filtres: Ceci impliquerait que le système actif mette en œuvre un filtrage RF supplémentaire.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Performances du lobe latéral 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. Il 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 de canal du télescope.

5.3.2 SRS

Pour les systèmes à satellites multifaisceaux dont le fonctionnement est prévu dans les gammes de fréquences qui nous intéressent, le nombre de faisceaux, ou le nombre d'éléments multiplie les implications, en coût et en poids, du filtrage RF supplémentaire dans le système d'antenne en 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 filtrés séparément. Dans un système en réseau à commande de phase, l'étage final d'amplification a lieu dans les divers éléments du réseau, dont chacun devra être filtré séparément. De cette façon, le nombre de faisceaux ou le nombre d'éléments dans le réseau à commande de phase accentue l'impact en poids d'un filtre individuel dans le système. L'affaiblissement d'insertion du filtre pourrait avoir un effet sur la capacité du système.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Le calcul suggère que les critères de protection examinés au § 1.3 sont satisfaits pour les observations VLBI, le sont presque pour les observations du continuum à antenne unique et ne le sont pas pour les observations de raies spectrales. Cependant, il s'agit d'un calcul dans le cas le plus défavorable. Des calculs plus précis pourraient conduire à une amélioration sensible de ces marges. Dans la mesure où le manque à satisfaire les critères de protection pour les observations du continuum à antenne unique est seulement de 1 dB dans ce cas le plus défavorable, ce qui est déjà dans des tolérances de mesure raisonnables, toute amélioration amènerait à la satisfaction des critères pour les observations du continuum à antenne unique. Cette considération est reflétée dans les conclusions.

6.2 Conclusion

Les critères de protection sont satisfaits pour les observations VLBI et du continuum à antenne unique, mais pas pour les observations de raies spectrales à antenne unique.

Annexe 13

Analyse de compatibilité entre le SETS (passive) dans la bande 23,6-24 GHz et le SIS dans la bande 22,55-23,55 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 23,6-24 GHz est attribuée au SETS (passive), au SRA et au service de recherche spatiale (passive). On notera que la bande 23,6-24 GHz est couverte par le numéro 5.340 du RR. Les attributions adjacentes à la bande passive 23,6-24 GHz sont indiquées dans le Tableau 33.

1.2 Application

Les mesures passives autour des fréquences 23,8 GHz (contenu total de vapeur d'eau), 31,5 GHz (canal fenêtre) et 90 GHz (eau liquide) fournissent des données auxiliaires qui jouent un rôle prépondérant dans le processus de recherche sur les mesures de température effectuées dans le spectre d'absorption de O₂. Ces mesures auxiliaires doivent avoir des performances radiométriques et géométriques et des critères de disponibilité cohérents avec ceux des mesures de température.

TABLEAU 33

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans les bandes attribuées inférieures		Bande passive	Services dans la bande attribuée supérieure
22,55-23,55 GHz	23,55-23,6 GHz	23,6-24 GHz	24-24,05 GHz
FIXE INTER-SATELLITES MOBILE 5.149	FIXE MOBILE	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340	AMATEUR AMATEUR PAR SATELLITE 5.150

NOTE 1 – L'attribution entre satellites peut être utilisée pour des systèmes OSG ou non OSG.

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations ci-dessous établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Les critères applicables aux mesures sont les suivants:

- le premier critère est la puissance brouilleuse maximale reçue par le détecteur SETS de toutes les sources potentielles de brouillage. Le seuil de brouillage est -163 dBW dans une largeur de bande de référence de 100 MHz;
- le second est la proportion maximale tolérable de perte de cellules de mesure à cause du brouillage.

Pour les instruments à balayage conique, la proportion de cellules de mesure perdues à cause du dépassement du seuil ne doit pas excéder 5% dans les cas où les événements de brouillage sont aléatoires et 1% lorsque les événements de brouillage sont systématiques. Dans la mesure où le SIS n'est pas aléatoire, le critère de 1% s'applique.

Pour les sondeurs de nadir utilisés pour les mesures tridimensionnelles de la température atmosphérique ou la concentration de gaz, la proportion de cellules de mesure perdues à cause du brouillage ne doit pas excéder 0,01%. La limite de cette fréquence d'occurrence est valide pour les sondeurs à balayage mécanique et les sondeurs de nadir en peigne.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

1.4.1 Instruments à balayage conique

Les principales caractéristiques des détecteurs à balayage mécanique typiques figurent au Tableau 34.

TABLEAU 34

Caractéristiques typiques des détecteurs à balayage conique

Canal 23,6-24 GHz	MEGHA-TROPIC	EOS-AMSR-E	ADEOS-II AMSR
Largeur de bande de canal (MHz)	400	400	400
Taille de pixel sur la piste (km)	35,4	17,6	16,6
Efficacité du faisceau (%)	96	97	96
Angle d'incidence i au centre de l'empreinte (degrés)	52,3	55	55
Altitude du satellite (km)	817	705	803
Gain d'antenne maximum (dBi)	40	46	48
Diamètre du réflecteur	650 mm	1,6 m	2,0 m
Ouverture du faisceau $\theta_{3\text{ dB}}$ de l'antenne à mi-puissance (degrés)	1,65	0,9	0,75

La taille de pixel sur la piste est calculée à partir du contour à -3 dB du diagramme d'antenne en tenant compte de l'altitude du satellite et de l'angle d'incidence de la vue directe du faisceau.

Il est important de noter que ces sortes de détecteurs SETS ne sont pas des satellites pointant au nadir mais des détecteurs SETS ayant une configuration de balayage conique centrée dans la direction du nadir. Il est important pour l'interprétation des mesures de surface de maintenir un angle d'incidence au sol constant tout le long de lignes de balayage entières. La géométrie des instruments à balayage coniques est décrite à la Fig. 27. La vitesse de rotation de l'instrument (mais pas du satellite) est $w = 20$ tours par minute (tr/min) pour MEGHA-TROPIC et 40 tr/min pour EOS AMSR-E.

La configuration des détecteurs à balayage conique est présentée à la Fig. 27.

Les caractéristiques géométriques typiques de cette sorte d'instrument sont fondées sur les suivantes (pour une altitude d'environ 850 km):

- l'angle d'incidence au sol i au centre de l'empreinte est d'environ 50° ;
- l'angle de décalage du SETS par rapport au nadir ou demi angle conique α à la direction du nadir est d'environ 44° ;
- la largeur du couloir utile est d'environ 1 600 km; et
- la période de balayage est choisie de façon à assurer la pleine couverture et le temps d'intégration optimal (résolution radiométrique).

Les Fig. 28 et 29 ci-dessous montrent le schéma de gain relatif d'antenne par rapport au gain maximum respectivement du satellite MEGHA-TROPIC et de EOS AMSR-E.

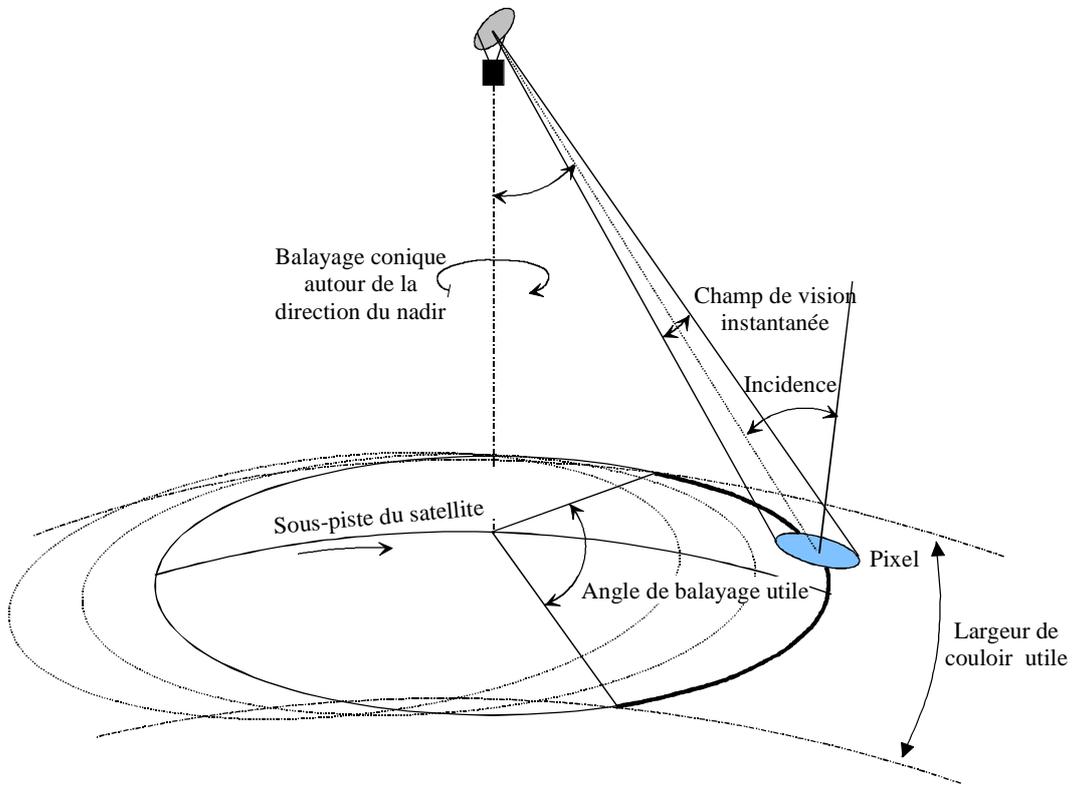
1.4.2 Caractéristiques de fonctionnement des instruments de nadir

Les détecteurs passifs de nadir retenus pour la présente analyse sont le SHP, un instrument de balayage mécanique à piste croisée autour de la direction du nadir, et le sondeur vertical en peigne. Le sondeur en peigne est un instrument purement statique sans partie mobile. La caractéristique majeure du sondeur en peigne est que tous les pixels d'une ligne de balayage sont acquis simultanément, et non pas en séquence comme pour les détecteurs à balayage mécanique (c'est-à-dire du type SHP), ce qui permet d'augmenter de façon significative le temps d'intégration

et la résolution radiométrique réalisable. Le sondeur en peigne incorpore une antenne d'acquisition de données fixe pointée dans la direction du nadir et une antenne dédiée à l'étalonnage de l'espace obscur. Dans le cas du SHP, l'étalonnage est mis en œuvre une fois par révolution de balayage par l'antenne principale lorsqu'elle regarde dans la direction de l'espace obscur. Les principales caractéristiques de ces détecteurs sont données au Tableau 35.

FIGURE 27

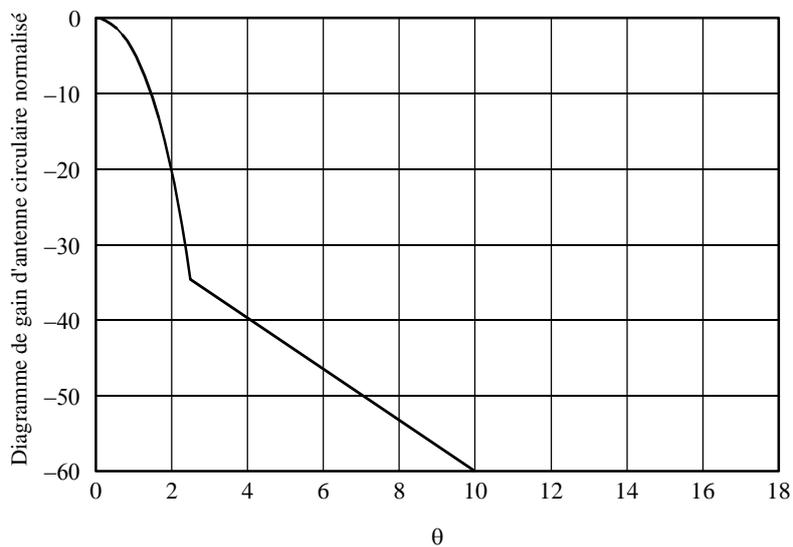
Configuration des détecteurs passifs à balayage conique



1633-27

FIGURE 28

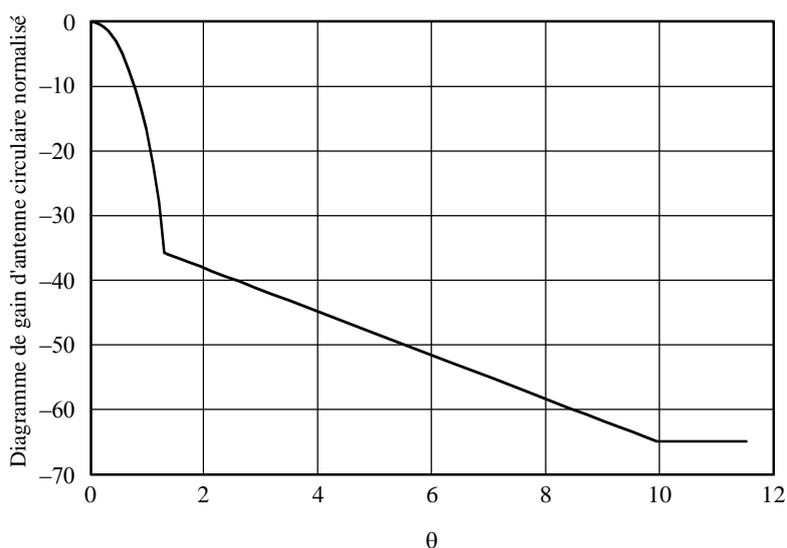
Diagramme de gain d'antenne du détecteur MEGHA-TROPIC



1633-28

FIGURE 29

Diagramme de gain d'antenne du satellite EOS AMSR-E



1633-29

TABLEAU 35

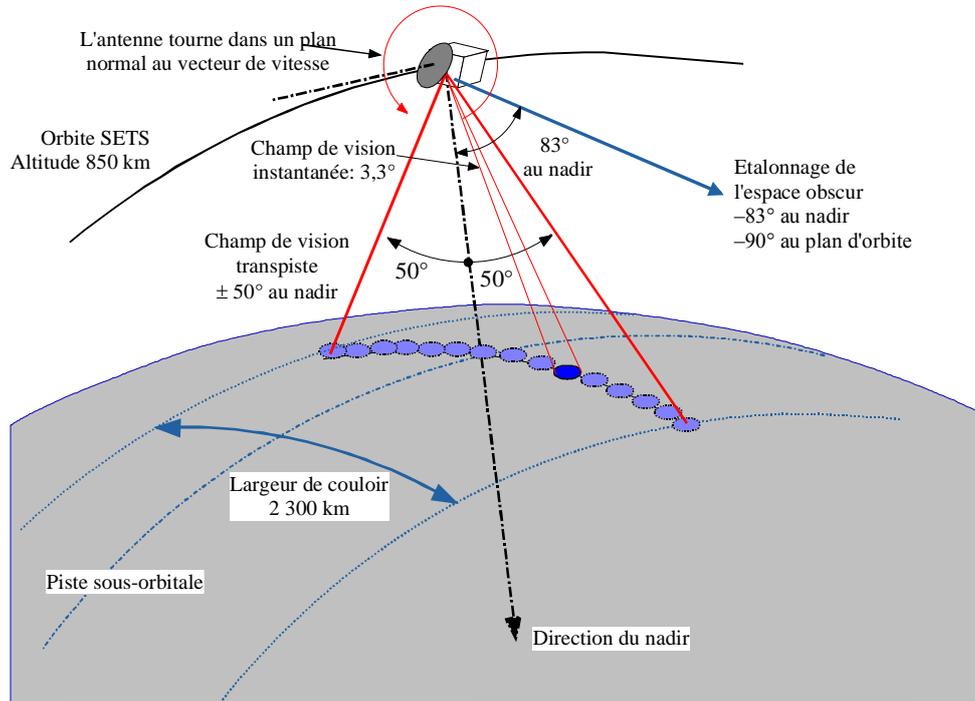
Caractéristiques des détecteurs de nadir

Paramètres	SHP	Sondeur en peigne
Gain d'antenne principale (dBi)	36	45
Gain du lobe arrière d'antenne (dBi)	-10	-12
Champ de vision instantanée à -3 dB (degrés)	3,3	1,1
Champ de vision total le long/en travers de piste (degrés)	100/3,3	100/1,1
Taille de pixel (km)	45	16
Nombre de pixels par ligne	30	90
Résolution radiométrique (K)	0,2	0,2
Densité seuil de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Altitude du détecteur (km)	850	850
Gain de l'antenne d'étalonnage de l'espace obscur (dBi)	36	35
Angle d'étalonnage de l'espace obscur (degrés par rapport à la piste du satellite)	90	90
Angle d'étalonnage de l'espace obscur (degrés par rapport à la direction du nadir)	83	83
Type de balayage	Mécanique	Electronique

La configuration orbitale de ces détecteurs est illustrée aux Fig. 30 et 31.

FIGURE 30

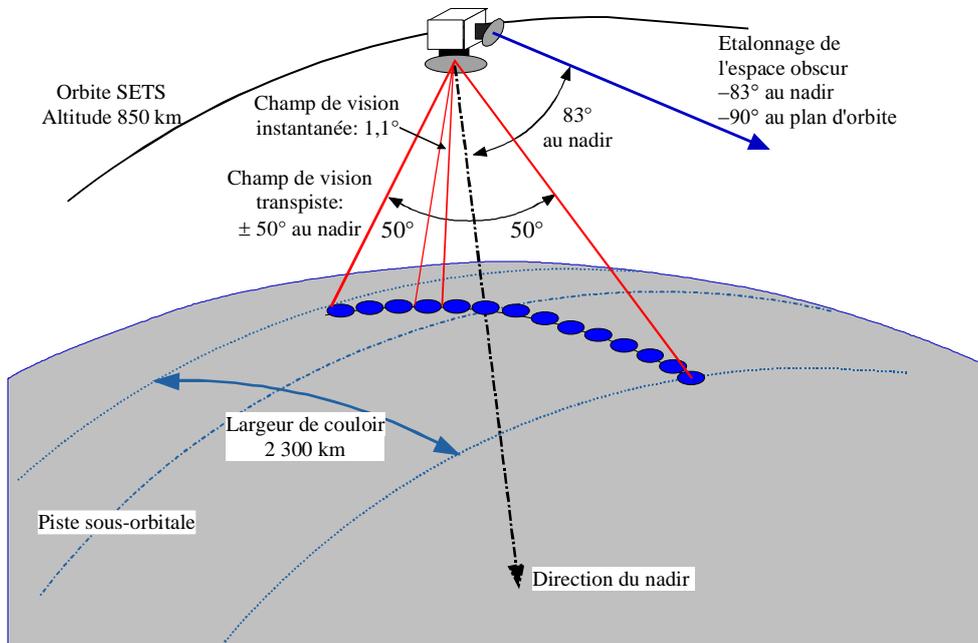
Configuration orbitale pour le détecteur SHP



1633-30

FIGURE 31

Configuration orbitale du détecteur en peigne



1633-31

2 SIS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande d'émission considérée est la bande 22,55-23,55 GHz (voir le Tableau 33).

2.2 Application

Le service actif étudié dans la présente analyse est le SIS. La Recommandation UIT-R S.1328-3 contient les caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre les systèmes OSG et non OSG dans le SFS incluant les liaisons de connexion du SMS. Cependant, la présente Recommandation ne contient pas d'informations sur les liaisons inter-satellites.

2.3 Niveaux fondés sur la représentation spectrale

La présente Annexe utilise la représentation spectrale par «cosinus surélevé» qui est décrite en Annexe 1.

Cette représentation spectrale est destinée aux études bande par bande et est provisoire, dans l'attente d'un nouvel examen à l'UIT-R. Elle représente d'une façon très générale la distribution de la puissance moyenne typique à travers les domaines hors bande et non essentiel dans l'attribution adjacente ou proche.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

2.4.1 Réseau à satellite non OSG Hib-Leo 2

Ce système est retenu pour l'étude de compatibilité avec des détecteurs à balayage conique. La présente étude, qui se fonde sur une analyse du cas le plus défavorable, est purement statique et ne considère pas les aspects temporels. Cependant, elle sera complétée d'une analyse dynamique, sur la base d'une constellation réelle. La seule constellation connue pour le moment est le système Hib-Leo 2. Les principales caractéristiques de ce système sont présentées au Tableau 36.

TABLEAU 36

Spécifications du système Hib-Leo 2

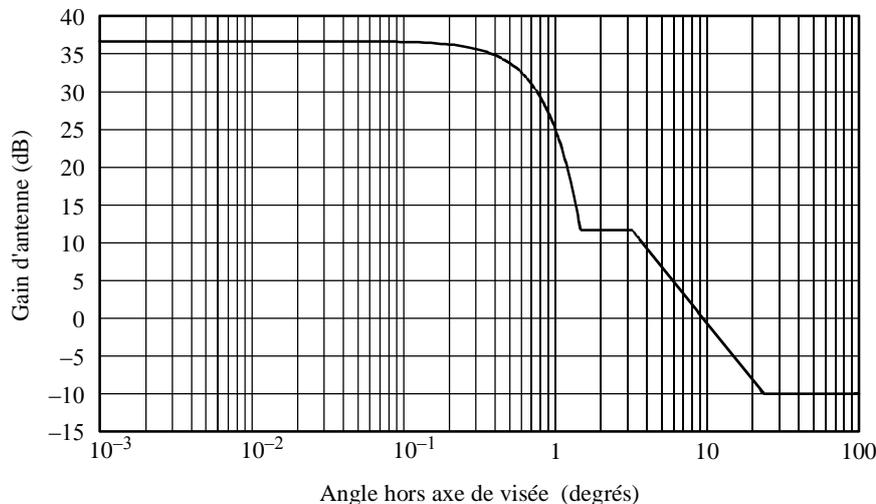
Paramètres du système	Valeur
Nombre de plans de satellite	6
Nombre de satellites par plan	11
Altitude nominale	780
Type d'orbite	Polaire circulaire (angle d'inclinaison de 86,5°)
Largeur de bande nécessaire	Canaux de 8 × 19 MHz (largeur de bande totale de 194 MHz)
Puissance de crête	3,5 dBW pour le total des 8 liaisons
Gain d'antenne	36,7 dBi

La Recommandation UIT-R S.672 est applicable pour l'antenne de liaison inter-satellites. Le diagramme d'antenne est présenté à la Fig. 32.

FIGURE 32

Diagramme de gain d'antenne SIS

(Gabarit et diagramme de gain moyen d'antenne conforme à la Recommandation UIT-R S.672)



1633-32

2.4.2 Paramètres caractéristiques des liaisons inter-satellites

Les caractéristiques techniques des systèmes SIS considérées pour l'analyse des instruments à nadir sont données au Tableau 37. Elles ont été fondées sur les hypothèses suivantes pour estimer l'influence de divers paramètres de configuration:

- les systèmes à orbite polaire circulaire basse (LEO-1 à LEO-4) sont censés couvrir des altitudes allant de 700 à 1 000 km, et un système OSG;
- les caractéristiques d'émission fondées sur Hib-Leo-2 qui utilise actuellement des liaisons inter-satellites dans cette bande de fréquences, sont conservées et adaptées aux systèmes LEO et GEO;
- pour la largeur de bande nécessaire, trois valeurs sont considérées: 200 MHz (8 canaux), 100 MHz (4 canaux) et 50 MHz (2 canaux), et en supposant une puissance de crête totale de respectivement 3,5 dBW, 0,5 dBW et -2,5 dBW;
- on a supposé un gain d'antenne de 36,7 dBi pour le système le plus bas (LEO-1), les gains d'antenne (en réception et en émission) pour les autres scénarios sont réglés pour compenser l'augmentation de longueur des liaisons, en considérant des liaisons telles que leur altitude minimale soit à 200 km au-dessus de la surface de la Terre (1 000 km dans le cas du système GEO);
- ces caractéristiques devraient être mises à jour et l'analyse devrait être réitérée chaque fois que deviennent disponibles celles des systèmes existants ou en projet.

On a considéré de plus que le bord supérieur de la largeur de bande nécessaire coïncide avec la limite supérieure de la bande de fréquences attribuée. Donc, une bande de garde minimum de 50 MHz est fournie par l'attribution aux services fixe et mobile entre les attributions du SIS et du SETS.

TABLEAU 37

Paramètres caractéristiques des liaisons inter-satellites

Paramètres du système	Valeurs				
	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Altitude nominale (km)	700	800	900	1 000	35 900
Type d'orbite	Polaire circulaire				OSG
Largeur de bande nécessaire (canaux de 8×25 MHz)	200				
Puissance de crête totale dans la largeur de bande nécessaire (dBW)	3,5/0,5/-2,5				
Densité de puissance maximum (dB(W/MHz))	-7,5				
Gain d'antenne (dBi)	36,7	37,5	38,2	38,8	48,4
Orientation de l'antenne à la plus grande distance (par rapport au nadir local) (degrés)	68,34	66,41	64,66	63	10
Longueur maximum de la liaison (km)	5 226	5 746	6 229	6 683	83 460

3 Seuil de compatibilité

Le seuil de brouillage est de -163 dBW dans une largeur de bande de référence de 100 MHz. La valeur figurant dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau maximum de brouillage admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif. Des travaux complémentaires sont donc nécessaires pour étudier l'impact de services actifs multiples au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage**4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage**

C'est une analyse purement statique qui évalue le cas le plus défavorable de brouillage reçu d'un satellite unique de la constellation Hib-Leo 2. L'évaluation du brouillage est mise en œuvre en deux temps.

Dans un premier temps, la puissance reçue par le détecteur passif provenant de la liaison inter-satellites est calculée dans diverses configurations géométriques, avec l'hypothèse que le détecteur passif et les liaisons inter-satellites sont sur la même fréquence. Pour être cohérent avec le seuil de brouillage qui se rapporte à une largeur de bande de référence de 100 MHz (voir la Recommandation UIT-R SA.1029), l'analyse est effectuée dans la largeur de 100 MHz la plus basse de l'attribution SETS passive (23,6-23,7 GHz), qui est la plus proche de l'attribution SIS. Donc, en supposant que la largeur de bande nécessaire du SIS soit de 200 MHz (voir le Tableau 37), seule la moitié de la puissance totale du SIS est reçue par le détecteur dans la largeur de bande de référence de 100 MHz. Cette quantité de puissance est alors comparée au seuil de brouillage du détecteur passif. L'excédent (s'il en est) de la puissance reçue par le détecteur passif au-delà du seuil de brouillage est l'affaiblissement requis du rayonnement hors bande qui doit être réalisé pour la protection du SETS.

Dans un deuxième temps, on utilise les limites d'émission hors bande pour les services spatiaux contenus dans l'Annexe 5 de la Recommandation UIT-R SM.1541. L'application de cette Recommandation donne des affaiblissements spectraux dans la partie de 100 MHz la plus basse de l'attribution

SETS qui seront comparées aux résultats de la première étape. Si le seuil de brouillage est toujours dépassé, il faudra alors trouver des méthodes de réduction de la puissance dans la bande passive.

4.2 Calculs des niveaux de brouillage pour les détecteurs passifs à balayage conique

4.2.1 Le satellite SIS est juste au-dessus du détecteur passif

On a une situation géométrique très simple lorsque le satellite SIS est juste au-dessus du détecteur SETS. Dans cette situation, le gain d'antenne du détecteur SETS est très inférieur au maximum. Ce cas ne survient qu'avec le radiomètre EOS AMSR-E.

TABLEAU 38

Analyse de compatibilité entre Hib-Leo 2 et EOS AMSR-E

Paramètres	Valeur obtenue
Gamme de fréquences SIS (GHz)	23,183-23,377
p.i.r.e./porteuse (dBW)	12,2
Largeur de bande (MHz)	194
Distance station spatiale SIS – détecteur SETS (km)	75
Affaiblissement spatial (dB)	157,5
Gain de l'antenne SETS (dBi)	-19
Puissance reçue au SETS dans la largeur de bande ci-dessus (dBW)	-164,3
Puissance correspondante reçue au SETS dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-167,2
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-163
Affaiblissement spectral requis	0

4.2.2 Le satellite SIS est juste au-dessous du détecteur passif

On trouve une situation géométrique très simple lorsque le satellite SIS est juste au-dessous du détecteur SETS. Dans cette situation, le gain d'antenne du détecteur SETS est maximum. Ce cas ne survient qu'avec le radiomètre MEGHA-TROPIC.

TABLEAU 39

Analyse de compatibilité entre Hib-Leo 2 et MEGHA-TROPIC

Paramètres	MEGHA-TROPIC
Gamme de fréquences SIS (GHz)	23,183-23,377
p.i.r.e./porteuse (dBW)	12,2
Largeur de bande (MHz)	194
Distance station spatiale SIS – détecteur SETS (km)	56
Affaiblissement spatial (dB)	154,7
Gain d'antenne SETS (dBi)	40
Puissance reçue au SETS (dB(W/MHz))	-125,4
Puissance reçue au SETS (dB(W/100 MHz))	-105,4
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-163
Affaiblissement spectral requis	57,6

TABLEAU 40

Analyse de compatibilité entre Hib-Leo 2 et ADEOS-II AMSR

Paramètres	ADEOS-II AMSR
Gamme de fréquences SIS (GHz)	23,183-23,377
p.i.r.e./porteuse (dBW)	12,2 (8 liaisons activées)
Largeur de bande (MHz)	194
Distance station spatiale SIS – détecteur SETS (km)	36
Affaiblissement spatial (dB)	150,8
Gain de l'antenne SETS (dBi)	40
Puissance reçue au SETS (dB(W/MHz))	-121,5
Puissance reçue au SETS (dB(W/100MHz))	-101,5
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-163
Affaiblissement spectral requis	61,5

4.2.3 Calculs lorsque le satellite SIS est dans le plan du détecteur SETS

On a une situation géométrique très simple lorsque le satellite SIS est dans le plan du détecteur SETS. Dans cette situation, le gain d'antenne du détecteur SETS est aussi à un très faible niveau, mais le gain de l'antenne SIS est très près du maximum (à un angle de quelques degrés par rapport au point de visée).

Aucune marge spécifique n'a été prévue pour tenir compte de l'effet du corps du satellite.

TABLEAU 41

Analyse de compatibilité entre Hib-Leo 2 et MEGHA-TROPIC

Paramètres	Valeur obtenue
Gamme de fréquences SIS (GHz)	23,183-23,377
Largeur de bande (MHz)	194
Angle hors nadir du SETS	61,9
Angle hors nadir du SIS	62,4
p.i.r.e. du SIS (dBW)	18,2
Distance station spatiale SIS-détecteur SETS (km)	6 660
Affaiblissement spatial (dB)	196,4
Gain d'antenne SETS (dBi)	-20
Puissance reçue au SETS dans la largeur de bande ci-dessus (dBW)	-198,2
Puissance correspondante reçue au SETS dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-201
Seuil de brouillage dans une largeur de bande de 100 MHz (dBW)	-163
Affaiblissement spectral requis	0

Lorsque le satellite SIS est vu au limbe par le satellite SETS, la puissance intégrée dans une largeur de bande de référence de 100 MHz est au-dessous du seuil de brouillage.

4.3 Calcul du niveau de brouillage pour un détecteur passif de nadir

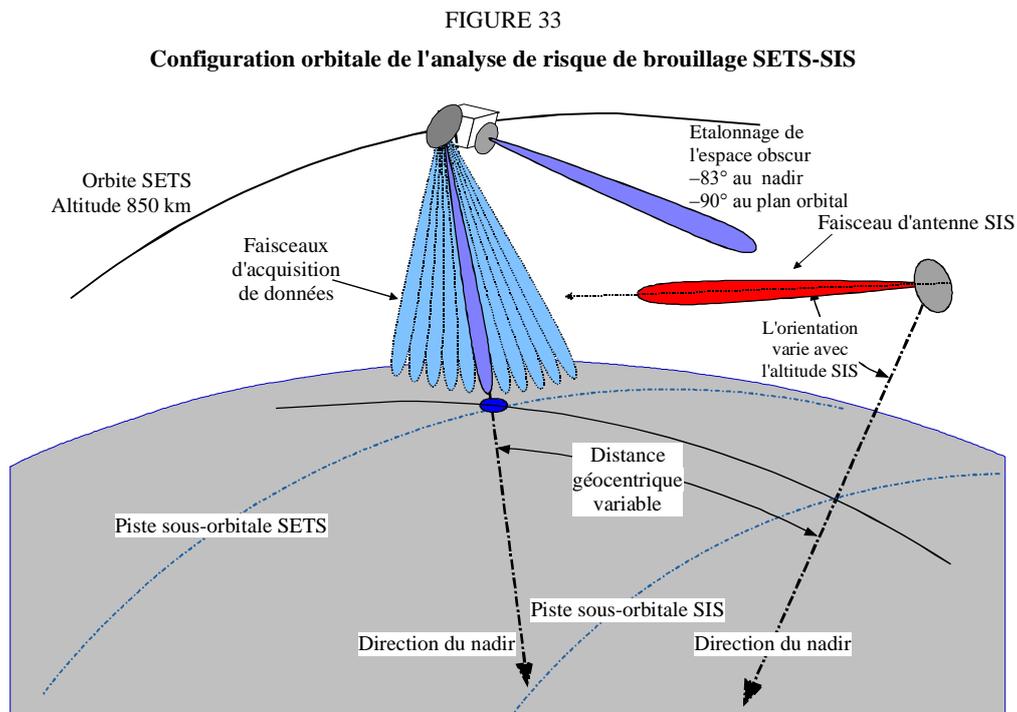
4.3.1 Identification des configurations les plus défavorables

On analyse cinq configurations géométriques impliquant que le détecteur passif soit dans une orbite circulaire de 850 km synchrone au soleil, et un satellite unique de la constellation SIS en orbites circulaires d'altitudes variées qui sont décrites au Tableau 37.

Le faisceau de nadir du détecteur passif (l'antenne d'acquisition de données) est considéré comme le cas le plus défavorable lorsque les satellites SIS sont plus bas que les satellites SETS. L'acquisition des données et les modes d'étalonnage sont traités simultanément.

Considérant que le balayage du sondeur de nadir et l'étalonnage de l'espace obscur sont mis en œuvre dans un plan normal au vecteur de vitesse du satellite d'exploration de la Terre qui contient les faisceaux principaux de l'antenne d'acquisition des données et de l'antenne d'étalonnage, il est reconnu que les plus mauvaises conditions de risque de brouillage sont obtenues lorsque les liaisons SIS sont mises en œuvre dans ce plan, parce que les voies de brouillage impliquant les faisceaux principaux du détecteur passif et/ou des antennes SIS deviennent alors possibles. La distance géocentrique entre les satellites SETS et SIS étant un paramètre variable, la présente analyse explore de telles configurations pour identifier celles qui causent le brouillage.

Le modèle d'antenne donné dans la Recommandation UIT-R F.1245 est adopté pour simuler les antennes SETS et SIS.



On note que, lorsque les orbites SETS et SIS sont similaires (inclinaison similaire, altitude similaire), comme c'est le cas pour les deux systèmes SIS à orbite basse considérés, leur vitesse relative peut être faible, permettant l'apparition de situations de risque de brouillage de longue durée.

Les résultats des bilans de liaison cofréquence pour le sondage et l'étalonnage de l'espace obscur font l'objet des Fig. 34, 35, 36, 37 et 38 (cas en peigne). Ces chiffres sont valables pour 200 MHz et 100 MHz de largeur de bande nécessaire; ils devraient être diminués de 3 dB dans le cas d'une largeur de bande nécessaire de 50 MHz. Ils indiquent clairement les conditions géométriques qui créent le brouillage. Ils sont aussi largement applicables au cas du SHP.

FIGURE 34
Puissance reçue par le détecteur passif (cofréquence, LEO-1 à 700 km)
 (Bilans de liaisons cofréquence) (altitude SETS 850 km-altitude SIS 700 km)

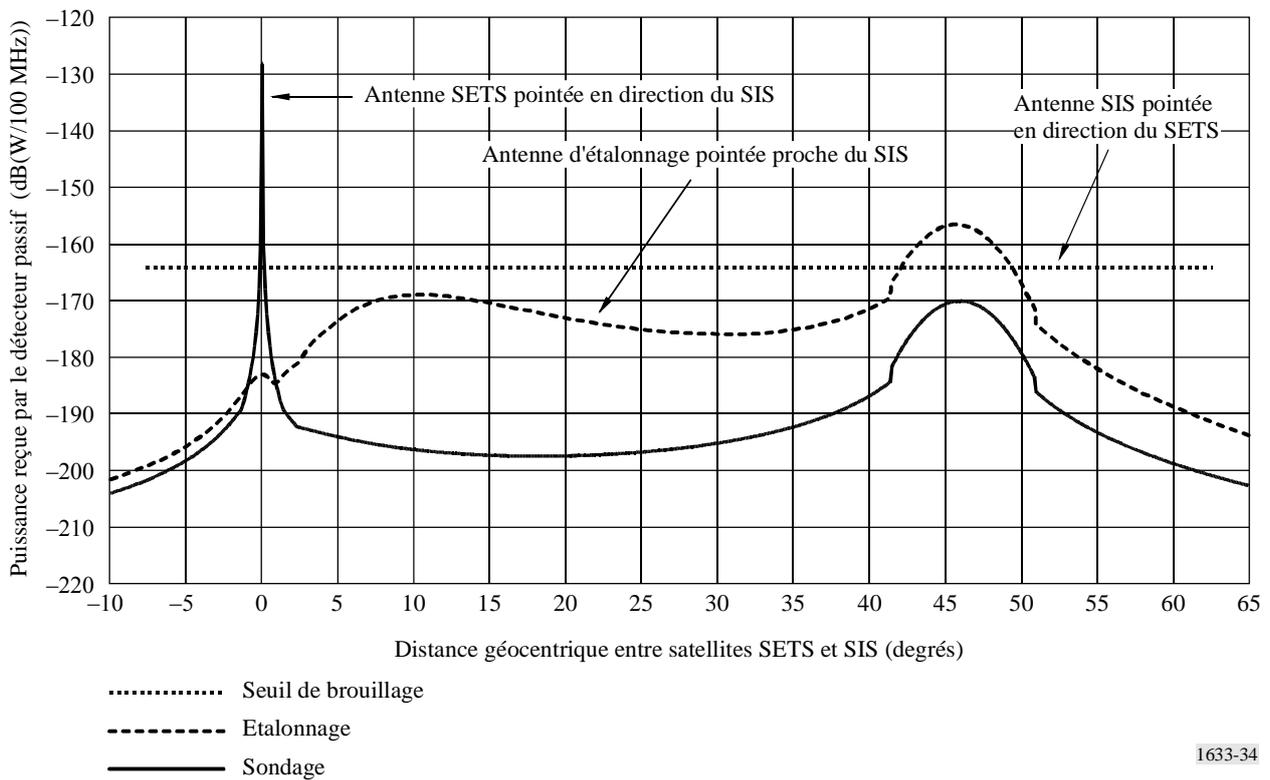
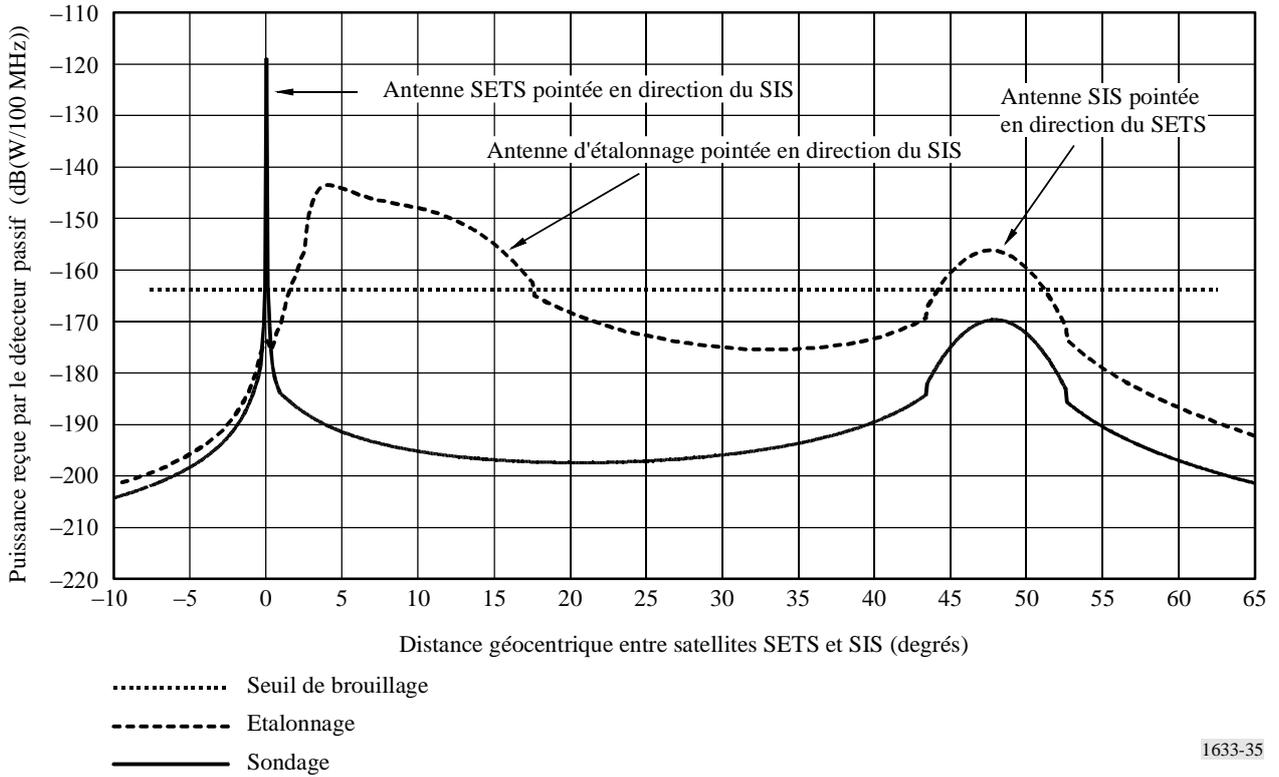


FIGURE 35

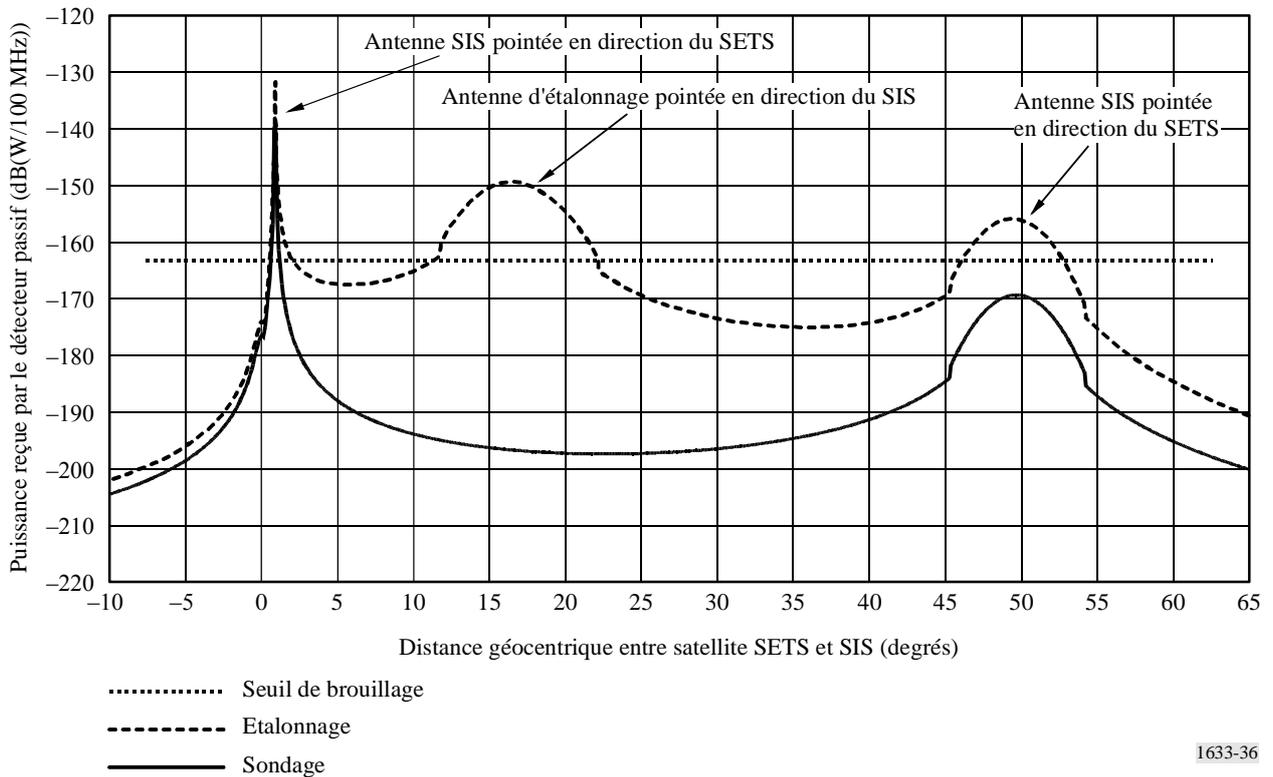
Puissance reçue par le détecteur passif (cofréquence, LEO-2 à 800 km)
 (Bilans de liaisons cofréquence) (altitude SETS 850 km-altitude SIS 800 km)



1633-35

FIGURE 36

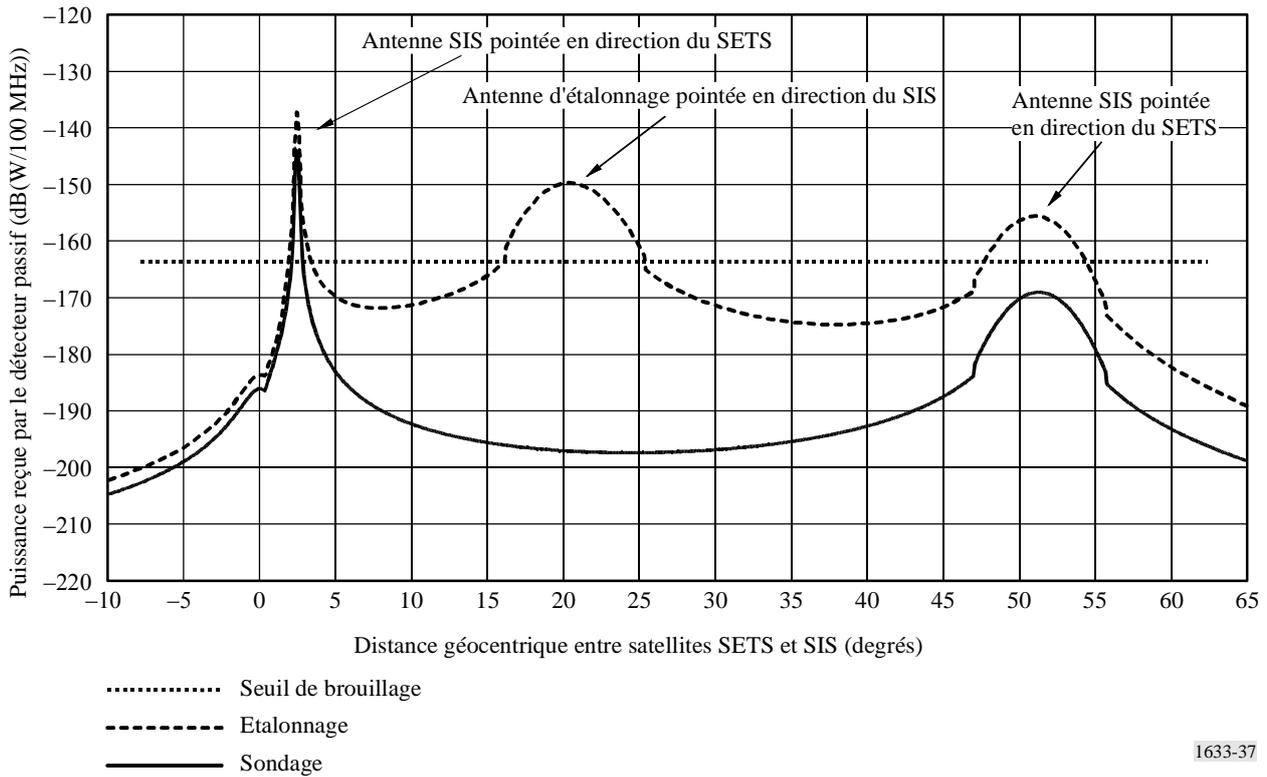
Puissance reçue par le détecteur passif (cofréquence, LEO-3 à 900 km)
 (Bilan de liaison cofréquence) (altitude SETS 850 km-altitude SIS 900 km)



1633-36

FIGURE 37

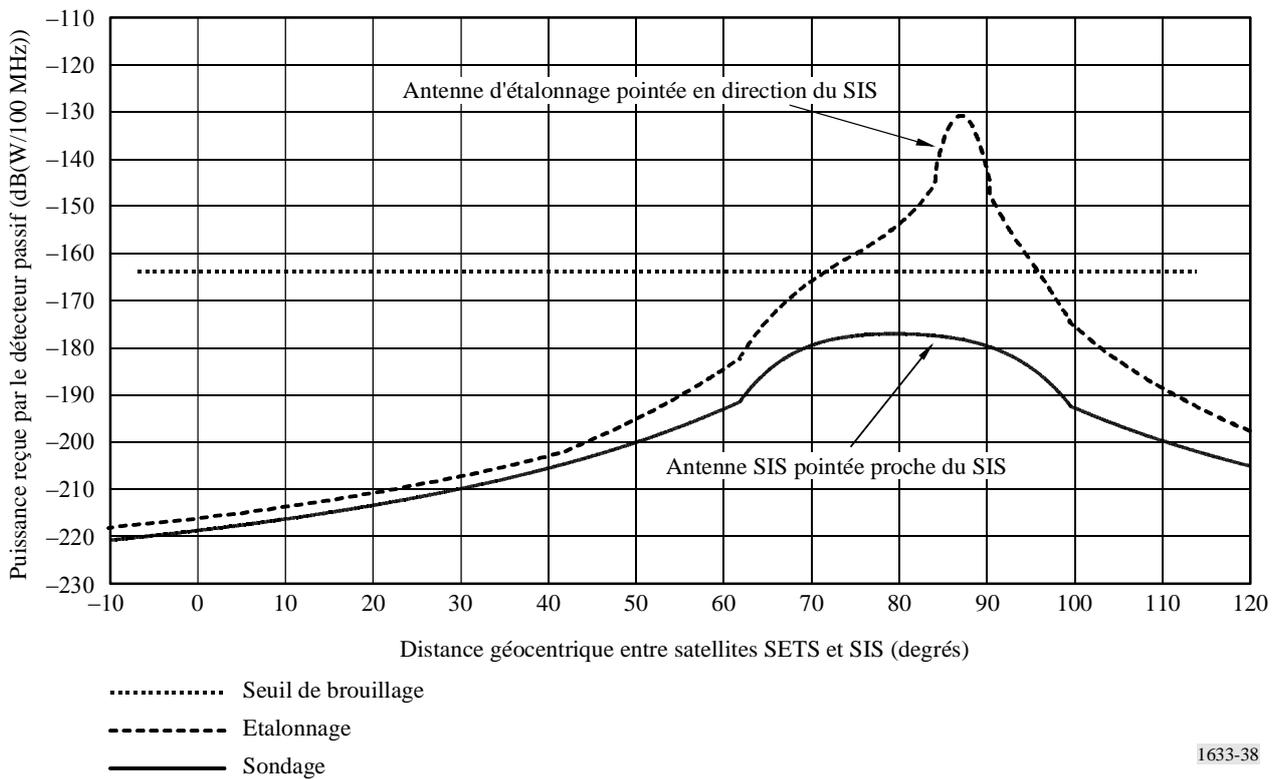
Puissance reçue par le détecteur passif (cofréquence, LEO-4 à 1 000 km)
 (Bilans de liaison cofréquence) (altitude SETS 850 km-altitude SIS 1 000 km)



1633-37

FIGURE 38

Puissance reçue par le détecteur passif (cofréquence, GEO à 35 900 km)
 (Bilans de liaison cofréquence) (altitude SETS 850 km-altitude SIS 35 900 km)



1633-38

4.3.2 Résumé des budgets de liaison cofréquence et commentaires

Les cas les plus défavorables de dépassement de puissance reçue au-delà du seuil de brouillage (bilans de liaison cofréquence) sont récapitulés dans les Tableaux 42 et 43, pour les modes d'acquisition des données et d'étalonnage de l'espace obscur, et pour les cinq configurations analysées. Tous les résultats ont été obtenus en configuration semi-statique n'impliquant de brouillage que d'un seul satellite de la constellation SIS. Des marges négatives indiquent que le seuil de brouillage est dépassé.

TABLEAU 42

Marges les plus défavorables par rapport au seuil de brouillage (hypothèse cofréquence) (cas SHP)

Marges les plus défavorables rapportées au seuil de brouillage – Cas SHP (hypothèse cofréquence)						
	LEO-1 (700 km)		LEO-2 (800 km)		LEO-3 (900 km)	
	Sondage	Etalonnage	Sondage	Etalonnage	Sondage	Etalonnage
Distance angulaire (degrés)	0,00	45,70	0,00	4,20	0,90	0,90
Distance (km)	150,00	5 557,00	50,00	530,25	124,42	124,42
Affaiblissement de trajet (dB)	-163,50	-194,87	-153,96	-174,47	-161,87	-161,87
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	36,00	0,99	36,00	-4,19	-10,08	-5,09
Gain d'antenne SIS (dBi)	-10,25	36,59	-10,45	35,57	34,22	34,22
Puissance d'émission SIS (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Puissance reçue (dB(W/100 MHz))	-137,25	-156,79	-127,91	-142,59	-137,23	-132,24
Marge/seuil $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-25,75	-6,21	-35,09	-20,41	-25,77	-30,76
Marge/seuil $B_N = 50$ MHz (dB)	-22,75	-3,21	-32,09	-17,41	-22,77	-27,75
	LEO-4 (1 000 km)		LEO-5 (35 900 km)			
	Sondage	Etalonnage	Sondage	Etalonnage		
Distance angulaire (degrés)	2,40	2,40	79,30	87,10		
Distance (km)	340,67	340,67	41 547,55	42 529,43		
Affaiblissement de trajet (dB)	-170,62	-170,62	-212,35	-212,55		
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	-10,08	-5,68	-10,08	35,97		
Gain d'antenne SIS (dBi)	38,31	38,31	47,13	46,13		
Puissance d'émission SIS (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50		
Puissance reçue (dB(W/100 MHz))	-141,89	-137,49	-174,80	-129,95		
Marge/seuil $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-21,11	-25,51	11,80	-33,05		
Marge/seuil $B_N = 50$ MHz (dB)	-18,11	-22,51	14,80	-30,05		

Dans toutes les configurations analysées, le seuil de brouillage peut être considérablement dépassé.

A noter que la puissance brouilleuse dans la largeur de bande de référence de 100 MHz est identique pour la largeur de bande nécessaire de 200 MHz et de 100 MHz, parce qu'on suppose que la densité de puissance au sein de la largeur de bande nécessaire est la même. La puissance brouilleuse est inférieure de 3 dB dans le cas de la largeur de bande nécessaire de 50 MHz.

Pour le faisceau de l'antenne d'acquisition de données qui regarde vers la Terre, le brouillage survient sur des distances géocentriques relativement courtes, lorsque les antennes SIS ou SETS pointent dans la direction de l'autre satellite. Les valeurs les plus défavorables sont obtenues lorsque le détecteur passif et le satellite SIS sont à courte distance, et que le satellite SIS se trouve

au-dessous du détecteur passif. On doit souligner qu'avec des marges négatives aussi grandes, de nombreux pixels adjacents dans l'alignement seront vraisemblablement contaminés aussi, bien que dans une moindre mesure (par exemple d'environ 20 pixels dans le cas d'une marge négative de -40 dB). L'analyse dynamique sera essentielle pour déterminer l'importance de la dimension temporelle.

TABLEAU 43

**Marges les plus défavorables par rapport au seuil de brouillage
(hypothèse cofréquence) (cas du sondeur en peigne)**

Marges les plus défavorables rapportées au seuil de brouillage – Cas du sondeur en peigne (hypothèse cofréquence)						
	LEO-1 (700 km)		LEO-2 (800 km)		LEO-3 (900 km)	
	Sondage	Étalonnage	Sondage	Étalonnage	Sondage	Étalonnage
Distance angulaire (degrés)	0,00	45,70	0,00	45,70	0,90	0,90
Distance (km)	150,00	5 557,00	50,00	517,74	124,42	124,42
Affaiblissement de trajet (dB)	-163,50	-194,87	-153,96	-174,26	-161,87	-161,87
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	45,00	1,24	45,00	-4,27	-12,33	-4,84
Gain d'antenne SIS (dBi)	-10,25	36,70	-10,45	34,54	34,22	34,22
Puissance d'émission SIS (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Puissance reçue (dB(W/100 MHz))	-128,25	-156,43	-118,91	-143,49	-139,48	-131,99
Marge/seuil $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-34,75	-6,57	-44,09	-19,51	-23,52	-31,01
Marge/seuil $B_N = 50$ MHz (dB)	-31,75	-3,57	-41,09	-16,51	-20,52	-28,01
	LEO-4 (1 000 km)		LEO-5 (35 900 km)			
	Sondage	Étalonnage	Sondage	Étalonnage		
Distance angulaire (degrés)	2,40	2,40	87,10	87,10		
Distance (km)	340,67	340,67	42 529,43	42 529,43		
Affaiblissement de trajet (dB)	-170,62	-170,62	-212,55	-212,55		
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	-12,33	-5,43	-12,33	34,98		
Gain d'antenne SIS (dBi)	38,31	38,31	46,13	46,13		
Puissance d'émission SIS (dB(W/100 MHz))	0,50	0,50	0,50	0,50		
Puissance reçue (dB(W/100 MHz))	-144,14	-137,24	-178,25	-130,94		
Marge/seuil $B_N = 200/100$ MHz (dB)	-18,86	-25,76	15,25	-32,06		
Marge/seuil $B_N = 50$ MHz (dB)	-15,86	-22,76	18,25	-29,06		

Pour le mode d'étalonnage de l'espace obscur, le seuil de brouillage est significativement dépassé sur une large gamme de distances géocentriques. Le mode d'étalonnage de l'espace obscur est plus vulnérable aux émissions provenant des systèmes SIS à cause de l'orientation spécifique de l'antenne d'étalonnage dédiée, dans la direction des orbites SIS. Noter que si l'étalonnage est contaminé par le brouillage, les données acquises sont également totalement invalides.

Le brouillage produit par le système OSG dépend fortement de la longueur de la liaison et de l'orientation de l'antenne SIS. Dans l'hypothèse adoptée, il n'y a pas de brouillage si le centre de la liaison est à une altitude supérieure à 8 000 km au-dessus de la surface de la Terre.

On doit souligner qu'en fonction de l'orbite du satellite SIS, les conditions géométriques qui génèrent le brouillage peuvent se rencontrer pendant une durée considérable. Une simulation dynamique sera absolument nécessaire pour évaluer l'importance relative des configurations de brouillage sur un certain laps de temps.

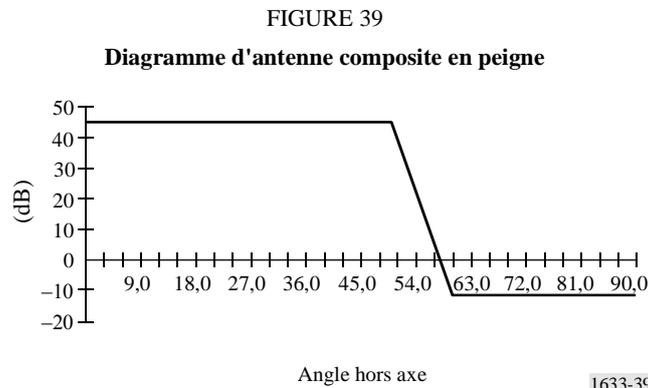
4.4 Analyse du brouillage dynamique

En plus des cas statique et semi-statique ci-dessus, une analyse dynamique est nécessaire pour prendre en compte le pourcentage de temps pendant lequel se produit un brouillage. Comme indiqué ci-dessus, un seuil de -163 dBW ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,01% du temps dans une largeur de bande de 100 MHz.

Des simulations ont été faites pour déterminer la probabilité de brouillage en utilisant un élément de temps (échantillonnage) de 5 s afin d'obtenir des résultats précis. Les simulations sont arrêtées lorsque la fonction de distribution cumulée devient stable. De plus, on a noté que toutes les simulations présentées ci-après ne traitent que du satellite «en peigne» du sondeur de nadir, parce que les cas statique et semi-statique ci-dessus ont montré qu'il s'agit du cas le plus défavorable.

4.4.1 Modélisation de l'antenne en peigne

Comme expliqué ci-dessus, l'antenne en peigne peut voir une ligne complète de pixels localisée autour du nadir à $\pm 50^\circ$ pour l'azimut, et à $\pm 0,55^\circ$ pour l'élévation. Le gain d'antenne maximum est de 45 dBi et, comme il est habituel pour les antennes de radiomètres, il y a une forte décroissance de -12 dBi sur le niveau du lobe latéral. La Fig. 39 suivante montre le diagramme d'antenne selon l'angle hors axe par rapport à l'azimut.



4.4.2 Calculs dynamiques avec le système Hib-Leo 2

La simulation faite se fonde sur une hypothèse simple: chaque satellite essaye de communiquer avec les quatre qui sont les plus proches dans la constellation. L'utilisation de la pleine largeur de bande est supposée, et les huit liaisons de chaque satellite sont supposées être en activité (4 liaisons pour émettre et 4 liaisons pour recevoir).

TABLEAU 44

Analyse dynamique entre les liaisons inter-satellites du système Hib-Leo 2 non OSG et un détecteur SETS de type en peigne

Distribution cumulée (%)	100	23,2	10	1	0,1	0,01	0,008
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 194 MHz)	-177	-163	-160	-154	-146	-105	-102

Selon le Tableau 44, il y a un risque que le satellite SETS subisse un brouillage lorsque les liaisons inter-satellites fonctionnent (ou que le pourcentage de données brouillées soit au-dessus du pourcentage acceptable). En tenant compte de la largeur de bande relative, l'affaiblissement spectral requis est de 55,1 dB pour Hib-Leo 2.

4.5 Application du gabarit hors bande aux émissions SIS

Considérant maintenant que les systèmes SIS émettent sur leurs propres bandes de fréquences, la suppression de leur puissance émetteur au sein des bandes attribuées au service voisin SETS (passive) devrait être suffisante pour éviter un brouillage préjudiciable, par exemple de 61 dB pour le détecteur MEGHA-TROPIC (voir le Tableau 39) et jusqu'à 35 dB pour le détecteur en peigne (voir le Tableau 41).

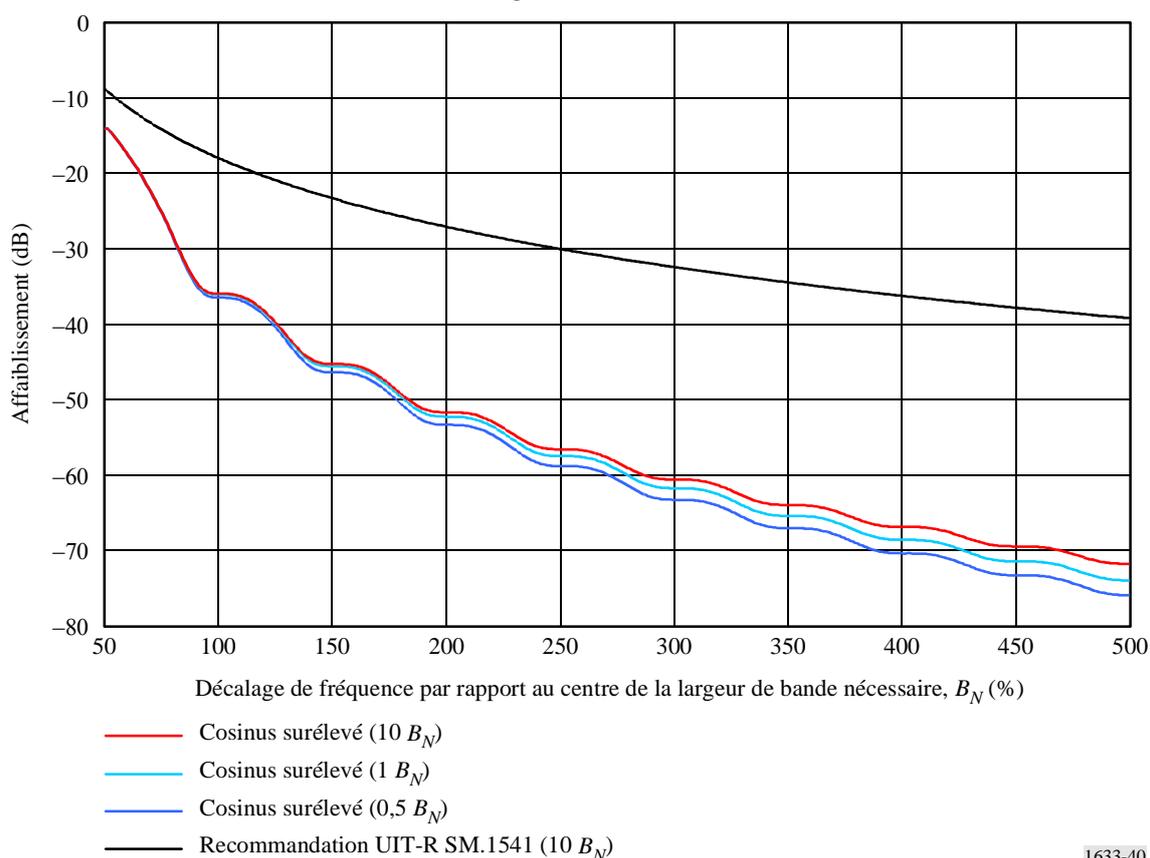
La Fig. 40 représente la puissance tombant dans l'attribution SETS, selon la bande de garde. Pour couvrir les caractéristiques changeantes des émissions SIS, l'intégration glissante est effectuée pour trois valeurs de la bande passive, exprimées en pourcentage de la largeur de bande SIS nécessaire (1000, 100 et 50%). Il n'y a qu'une différence mineure entre les trois courbes.

Noter que, dans la Fig. 40, le décalage de fréquence est pris à partir du centre de la largeur de bande nécessaire. Donc le décalage de fréquence minimum est de la moitié de la largeur de bande nécessaire, c'est-à-dire 50%. Cette courbe servira à déterminer la séparation minimum entre le centre de la largeur de bande nécessaire et la limite inférieure de la bande attribuée au SETS, ce qui est nécessaire pour protéger le détecteur passif contre les rayonnements non désirés du SFS.

FIGURE 40

Affaiblissement de la puissance hors bande contenue dans la largeur de bande SETS

(Suppression de puissance totale en fonction du décalage de fréquence)
(filtre à cosinus surélevé, gabarit de la Recommandation UIT-R SM.1541)



De plus, une séparation de 50 MHz est fournie par l'attribution aux services fixe et mobile entre les bandes attribuées au SIS et au SETS, dans la bande 23,55-23,6 GHz. La séparation de fréquence minimum entre le centre de la largeur de bande nécessaire qui est la référence dans le gabarit est donc $B_N/2 + 50$ MHz. La bande de garde supplémentaire requise est donc:

Décalage par rapport au centre de la largeur de bande $B_N - (B_N/2 + 50 \text{ MHz})$

4.5.1 Détecteur à balayage conique

Sur la base des résultats présentés dans les Tableaux 38 et 39, les Tableaux 45 et 46 présentent le décalage de fréquence minimum requis pour protéger le détecteur passif contre le brouillage généré par le système Hib-Leo 2.

TABLEAU 45

Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger l'AMSR-E contre les liaisons Hib-Leo 2

	Hib-Leo 2
Suppression de puissance requise (dB)	0
Largeur de bande nécessaire (MHz)	200
Bande passive (% B_N)	200
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (% B_N)	50
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (MHz)	100
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0

TABLEAU 46

Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger MEGHA-TROPIC contre les liaisons Hib-Leo 2

	Hib-Leo 2
Suppression de puissance requise (dB)	57,6
Largeur de bande nécessaire (MHz)	200
Bande passive (% B_N)	200
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (% B_N)	250
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (MHz)	500
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	350

TABLEAU 47

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger
ADEOS-II AMSR contre les liaisons Hib-Leo 2**

	Hib-Leo 2
Suppression de puissance requise (dB)	61,5
Largeur de bande nécessaire (MHz)	200
Bande passive (% B_N)	200
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (% B_N)	275
Décalage par rapport à la bande centrale B_N (MHz)	550
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	400

4.5.2 Détecteurs de nadir

Sur la base des résultats présentés dans les Tableaux 42 et 43, les Tableaux 48 à 50 et 51 à 53 présentent le décalage de fréquence minimum requis pour protéger le détecteur passif contre le brouillage généré par les systèmes fictifs présentés dans le Tableau 37. Dans chaque cas, la plus mauvaise des deux configurations, sondeur ou étalonnage, a été choisie pour déterminer le décalage minimum de fréquence requis.

TABLEAU 48

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger AMSU-A
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 200 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	25,75	35,09	30,76	25,51	33,05
Largeur de bande nécessaire (MHz)	200				
Bande passive (% B_N)	200				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	76	92	84	76	87
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	152	184	168	152	174
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	2	34	18	2	14

TABLEAU 49

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger AMSU-A
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 100 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	25,75	35,09	30,76	25,51	33,05
Largeur de bande nécessaire (MHz)	100				
Bande passive (% B_N)	400				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	76	92	84	76	87
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	76	92	84	76	87
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0

TABLEAU 50

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger AMSU-A
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 50 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	22,75	32,09	27,76	22,51	30,05
Largeur de bande nécessaire (MHz)	50				
Bande passive (% B_N)	800				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	71	85	79	70	83
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	36	43	40	35	42
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0

TABLEAU 51

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger le «détecteur en peigne»
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 200 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	34,75	44,09	31,01	25,76	32,06
Largeur de bande nécessaire (MHz)	200				
Bande passive (% B_N)	200				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	91	138	84	76	86
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	182	276	168	152	172
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	32	126	18	2	22

TABLEAU 52

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger le «détecteur en peigne»
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 100 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	34,75	44,09	31,01	25,76	32,06
Largeur de bande nécessaire (MHz)	100				
Bande passive (% B_N)	400				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	91	138	84	76	86
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	91	138	84	76	86
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	38	0	0	0

TABLEAU 53

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger le «détecteur en peigne»
contre les liaisons SIS (largeur de bande nécessaire de 50 MHz)**

	LEO-1	LEO-2	LEO-3	LEO-4	GEO
Suppression de puissance requise (dB)	31,75	41,09	28,01	22,76	29,06
Largeur de bande nécessaire (MHz)	50				
Bande passive (% B_N)	800				
Décalage à la bande centrale B_N (% B_N)	85	129	80	71	81
Décalage à la bande centrale B_N (MHz)	43	65	40	36	41
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0

NOTE 1 – Dans le cas de LEO-1 et LEO-2, le cas le plus défavorable est obtenu dans le mode d'acquisition des données. Il est obtenu dans le mode étalonnage dans le cas de LEO-3, LEO-4 et GEO.

Les simulations dynamiques ont montré qu'un rejet de 55,1 dB est requis: un tel rejet correspond à une bande de garde de 320 MHz.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Ce sujet doit faire l'objet de recherches ultérieures.

5.2 SIS

Les résultats de l'analyse (voir les Tableaux 45 à 53) indiquent que, dans les hypothèses de travail adoptées, l'application du gabarit de cosinus surélevé n'est pas suffisante lorsque la largeur de bande nécessaire est 200 MHz. D'autres techniques de réduction des brouillages peuvent aussi être employées en plus, afin de se conformer au seuil de brouillage du détecteur passif.

5.2.1 Limites de largeur de bande nécessaire et bande de garde

Les avantages de la diminution de la largeur de bande nécessaire sont clairement indiqués dans les Tableaux 48 et 53.

5.2.2 Filtrage en bande de base

Il faut noter que la plus grande part de la suppression des émissions hors bande bénéficierait pleinement de la décroissance de la forme d'onde de la modulation et du filtre analogique, s'ils sont mis en œuvre à bord. Afin de résoudre les cas pratiques de brouillage hors bande dans les bandes passives, il devient urgent d'obtenir un spectre typique des services actifs émettant hors de leur propre largeur de bande. Si ces spectres ne sont pas disponibles, l'autre moyen est d'obtenir un spectre des services actifs émettant au bord de leurs propres largeurs de bande: la connaissance de ces spectres pourrait nous donner assez d'informations pour prédire la décroissance des spectres dans les bandes adjacentes.

5.2.3 Puissance d'émission plus faible et/ou réduction de la largeur de bande nécessaire

La réduction de puissance et/ou de la largeur de bande nécessaire pourrait être réalisée en plaçant des applications à plus faible débit de données près du bord supérieur de la bande. Des liaisons SIS plus courtes conduiraient à une réduction de la p.i.r.e. nécessaire. De plus, une réduction des lobes latéraux de l'antenne serait aussi bénéfique.

5.2.4 Séparation géométrique et orbites SIS

Si on maintient une séparation géocentrique minimale entre le détecteur passif et les satellites actifs, cette séparation permettrait de diminuer la puissance reçue par le détecteur ou de réduire l'impact du brouillage temporel. Une telle séparation pourrait être en termes de distance orbitale, de séparation longitudinale pour les systèmes en orbites polaires ou géostationnaires, ou de séparation dans l'inclinaison de l'orbite. Les orbites SIS au-dessus de l'orbite SETS peuvent aussi améliorer la compatibilité.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

Une réduction de la largeur de bande de mesure due à un brouillage inacceptable dans la partie inférieure de la bande attribuée au SETS peut dégrader la qualité des données en dessous du niveau requis. D'un autre côté, un changement de la conception du détecteur pour conserver ses performances au niveau requis accroîtra inévitablement de façon considérable les coûts de développement et de production de l'instrument.

5.3.2 SIS

Les techniques de réduction des brouillages pour les systèmes utilisés actuellement peuvent n'être pas pratiques. L'introduction de bandes de garde réduira le spectre disponible. Une modification possible de la configuration du canal pour diminuer la largeur de bande occupée, l'adoption de techniques de modulation améliorées et le filtrage dans la bande peuvent être faisables pour les nouveaux systèmes, mais cela va vraisemblablement augmenter les coûts.

Les constellations SIS utilisant une largeur de bande nécessaire importante pourraient être placées aussi loin que possible de l'attribution au SETS (passive), dans la partie inférieure de l'attribution SIS.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Il ressort des études réalisées qu'en utilisant le gabarit de «cosinus surélevé», les techniques de réduction des brouillages décrites ci-dessus doivent être appliquées simultanément pour assurer la compatibilité.

6.2 Conclusions

Un détecteur passif peut être brouillé en divers endroits de son orbite par des liaisons SIS, en fonction de nombreux paramètres du système actif. La probabilité de brouillage dépend fortement des caractéristiques relatives du détecteur et du système SIS, et du nombre de satellites qui composent le système SIS. Des simulations dynamiques impliquant le détecteur passif et les constellations SIS devraient être poursuivies pour examiner le cas des réseaux SIS qui ont des caractéristiques différentes de celles d'Hib-Leo 2.

Les techniques de réduction des brouillages ci-dessus doivent être étudiées et révisées au sein de l'UIT-R.

Il faut noter que les systèmes à satellites ayant des orbites similaires à celle du détecteur pourraient causer de plus longues périodes de brouillage parce que leurs positions relatives ne changent pas rapidement. Même si le brouillage ne survient que pendant 0,01% du temps sur un mois, cela peut être presque 100% du temps pendant quelques heures. Cela ne satisfait pas au critère de ne brouiller que 0,01% des pixels de mesure.

Annexe 14

Analyse de compatibilité entre le SETS (passive) dans la bande 31,3-31,5 GHz, le SFS (Terre vers espace) et le SMS (Terre vers espace) dans la bande 30-31 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 31,3-31,5 GHz est attribuée au SETS (passive), au SRA et au service de recherche spatiale (passive). Il faut noter que la bande 31,3-31,5 GHz est couverte par le numéro 5.340 du RR. Les attributions adjacentes aux bandes passives 31,3-31,8 GHz sont indiquées dans le Tableau 54.

TABLEAU 54

Attributions dans les bandes adjacentes

Services spatiaux dans la bande attribuée inférieure	Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Services dans la bande attribuée supérieure
30-31 GHz	31-31,3 GHz	31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz
FIXE par SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE PAR SATELLITE (Terre vers espace) Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (espace vers Terre) 5.542	FIXE MOBILE Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (espace vers Terre) Recherche spatiale 5.544 5.545 5.149	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) Fixe (Régions 1 et 3) Mobile sauf mobile aéronautique (Régions 1 et 3) 5.149 5.546 (Région 1) 5.340 (Région 2) 5.149 (Région 3)

1.2 Application

Les mesures passives autour des fréquences 23,8 GHz (contenu total de vapeur d'eau), 31,5 GHz (canal fenêtre) et 90 GHz (eau liquide) fournissent des données auxiliaires qui jouent un rôle

prépondérant dans le processus de recherche sur les mesures de température effectuées dans le spectre d'absorption de O₂. Ces mesures auxiliaires doivent avoir des performances radiométriques et géométriques et des critères de disponibilité cohérents avec ceux des mesures de température.

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Le premier critère est la puissance brouilleuse acceptable reçue par le détecteur du SETS, qui est de -163 dBW dans la largeur de bande de référence de 100 MHz. Ceci est un niveau de brouillage maximum provenant de toutes les sources.

Le second critère est la fréquence d'occurrence de dépassement de la limite du seuil. Pour les détecteurs à balayage conique, le nombre de cellules de mesure perdues à cause du dépassement du seuil ne doit pas dépasser 5% dans les cas où les événements de brouillage sont aléatoires et 1% lorsque les événements de brouillage sont systématiques. Dans la mesure où le SFS n'est pas aléatoire, le critère de 1% s'applique.

Pour les sondeurs de nadir utilisés pour les mesures tridimensionnelles de la température atmosphérique ou la concentration de gaz, la proportion de cellules de mesure perdues à cause du brouillage ne doit pas excéder 0,01%. La limite de cette fréquence d'occurrence est valide pour les sondeurs à balayage mécanique et les sondeurs de nadir en peigne.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

1.4.1 Détecteurs à balayage conique

TABLEAU 55

Spécifications pour les applications radiométriques hyperfréquences

	Détecteur conique
Largeur de bande de canal (MHz)	100
Taille de pixel sur le trajet (diamètre) (km)	26,7
Efficacité du faisceau (%)	95
Angle d'incidence <i>i</i> au centre de l'empreinte (degrés)	52
Polarisation (linéaire)	H,V
Altitude du satellite (km)	817
Gain d'antenne maximum (dBi)	42
Diamètre du réflecteur (mm)	650
Ouverture complète du faisceau principal (degrés)	3,12
Ouverture à mi-puissance du faisceau de l'antenne $\theta_{3 \text{ dB}}$ (degrés)	1,25

L'efficacité du faisceau se définit comme l'énergie (principal composant de polarisation seulement) au sein du faisceau principal qui se rapporte à l'énergie totale dans tous les angles (4π stéradians). Le faisceau principal se définit comme le cône d'angle total $2,5 \theta_{3 \text{ dB}}$ ($2,5 \theta_{3 \text{ dB}}$ est l'angle total de l'ouverture à mi-puissance du faisceau).

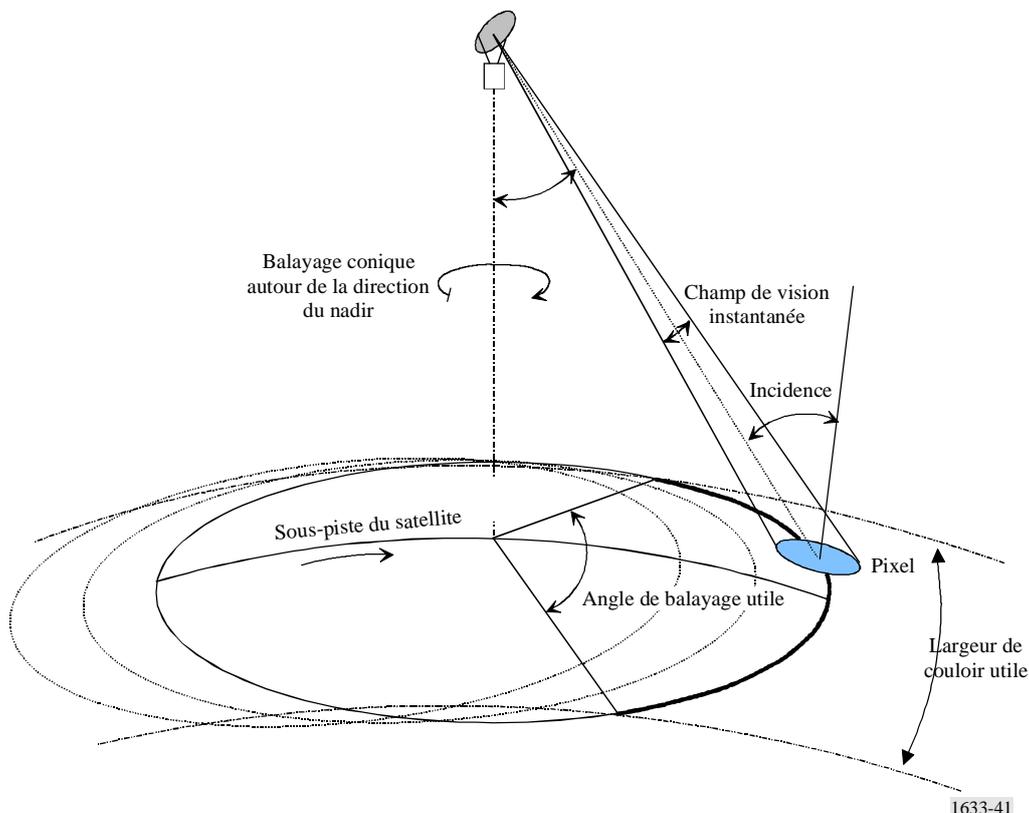
La taille de pixel à travers le trajet est calculée d'après le contour à -3 dB du diagramme d'antenne compte tenu de l'altitude du satellite et de l'angle d'incidence i du point de visée du faisceau.

D'un point de vue général, les antennes actuellement utilisées dans des applications radiométriques ont une forte efficacité de faisceau. Le lobe principal est capable de concentrer une très forte quantité d'énergie. Les premiers lobes latéraux ont un niveau d'environ -30 dB , ce qui signifie que le niveau de rayonnement du lobe arrière devrait être d'au moins -35 dB . Les mesures en AMSU-A montrent un niveau de lobe arrière qui est à 56 dB au-dessous de celui du faisceau principal.

Il est important de noter que le détecteur à balayage conique n'est pas un détecteur à nadir mais a une configuration de balayage conique centrée sur la direction du nadir. Il est souhaitable pour l'interprétation des mesures de surface de maintenir un angle d'incidence au sol constant le long des lignes de balayage entières. Le détecteur à nadir a des pixels de taille différente. La géométrie des instruments à balayage conique est décrite à la Fig. 41. La vitesse de rotation de l'instrument (et pas du satellite) est $w = 20 \text{ tr/min}$.

FIGURE 41

Géométrie des radiomètres hyperfréquences à balayage conique



1633-41

Les caractéristiques géométriques typiques de cette sorte d'instrument sont fondées sur les suivantes (pour une altitude d'environ 850 km):

- l'angle d'incidence au sol i au centre de l'empreinte est d'environ 50° ;
- l'angle de décalage du SETS par rapport au nadir ou demi angle conique α à la direction du nadir est d'environ 44° ;

- la largeur du couloir utile est d'environ 1 600 km; et
- la période de balayage est choisie de façon à assurer la pleine couverture et le temps d'intégration optimal (résolution radiométrique).

1.4.2 Détecteur à balayage du nadir

Le détecteur à balayage mécanique du nadir (AMSU-A) fonctionne depuis plusieurs années et c'est le système qui est utilisé actuellement. Il a les caractéristiques suivantes:

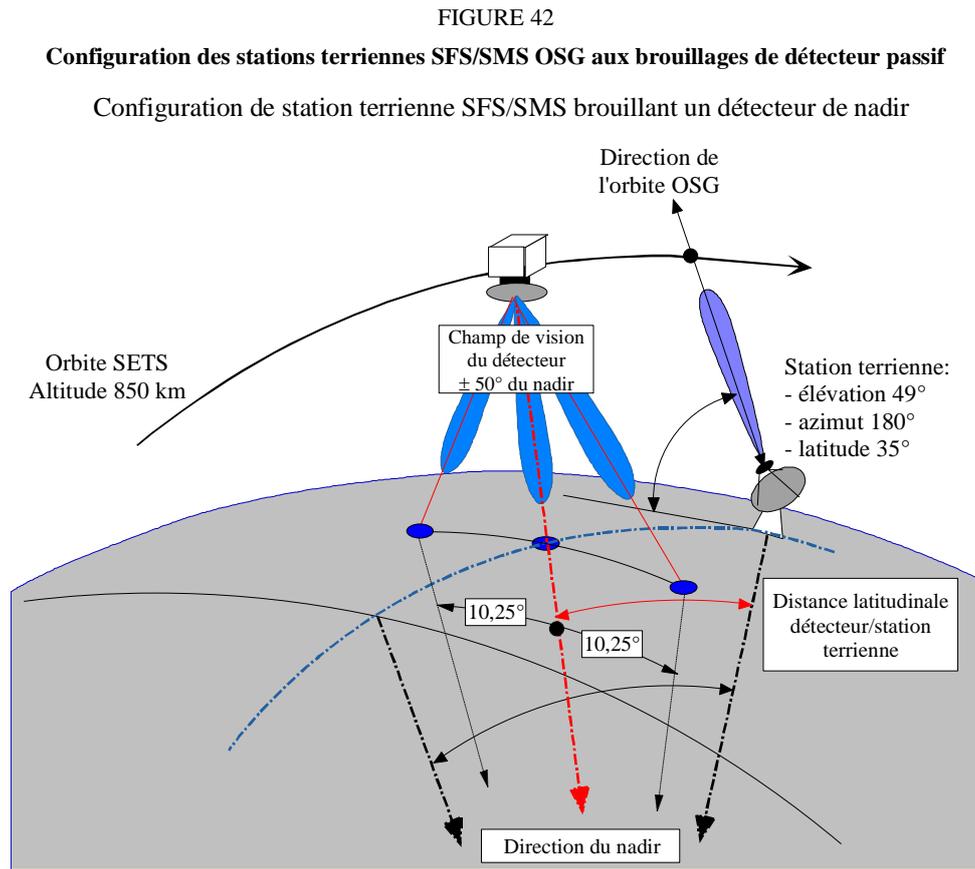
- balayage du trajet vers le nadir à $\pm 48,5^\circ$;
- 30 pixels par balayage;
- largeur de couloir de 2 300 km;
- angle d'incidence avec la Terre variant selon les pixels.

Un détecteur en peigne a été proposé, avec des faisceaux fixes dans une largeur de couloir similaire à celle de l'AMSU-A. Le détecteur passif à nadir retenu pour la présente analyse est le sondeur vertical en peigne, parce qu'il est le plus vulnérable au brouillage. Le sondeur en peigne est un instrument purement statique sans partie mobile. La caractéristique majeure du sondeur en peigne est que tous les pixels d'une ligne de balayage sont acquis simultanément, et non pas en séquence comme pour les détecteurs à balayage mécanique (c'est-à-dire du type SHP), ce qui permet d'augmenter de façon significative le temps d'intégration et la résolution radiométrique réalisable. Le sondeur en peigne incorpore une antenne d'acquisition de données fixe pointée dans la direction du nadir et une antenne dédiée à l'étalonnage de l'espace obscur. Les principales caractéristiques de ce détecteur sont données dans le Tableau 56.

TABLEAU 56
Caractéristiques des détecteurs de nadir

Paramètres	Sondeur en peigne
Gain d'antenne principale (dBi)	45
Gain du lobe arrière d'antenne (dBi)	-12
Champ de vision instantanée à -3 dB (degrés)	1,1
Champ de vision total le long/en travers de piste (degrés)	100/1,1
Taille de pixel (km)	16
Nombre de pixels par ligne	90
Résolution radiométrique (K)	0,2
Densité seuil de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163
Altitude du détecteur (km)	850
Gain de l'antenne d'étalonnage de l'espace obscur (dBi)	35
Angle d'étalonnage de l'espace obscur (degrés) (par rapport à la piste du satellite)	90
Angle d'étalonnage de l'espace obscur (degrés) (par rapport à la direction du nadir)	83
Type de balayage	Electronique

La configuration orbitale de ce détecteur est illustrée à la Fig. 42.



1633-42

2 SFS et SMS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande de service active est la liaison montante du SFS et les liaisons de connexion du SMS dans la bande 30-31 GHz. Se reporter au Tableau 54.

2.2 Application

L'ensemble complet des caractéristiques de l'émetteur dont il est tenu compte dans la présente annexe est tiré de la Recommandation UIT-R S.1328-3 – Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et systèmes à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS), y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS). Cette Recommandation donne des informations pertinentes sur les types de systèmes.

NOTE 1 – La plupart des systèmes, qu'on trouve dans la Recommandation UIT-R S.1328-3 qui ont des liaisons montantes SFS dans la gamme des 30 GHz, ont généralement une gamme de fréquences qui se termine dans les 30 GHz. En dépit de ce fait, on suppose que les satellites SFS qui ont des liaisons dans la gamme des 30–31 GHz ont des caractéristiques similaires à celles de ceux qui fonctionnent au-dessous de 30 GHz.

2.3 Niveaux fondés sur des représentation spectrales

La présente Annexe utilise la représentation spectrale par «cosinus surélevé» qui est décrite à l'Annexe 1.

Cette représentation spectrale est destinée aux études bande par bande et est provisoire, en attendant un complément d'étude au sein de l'UIT-R à l'avenir. Elle représente d'une façon très générale la distribution de puissance moyenne typique à travers les domaines d'émission hors bande et non essentiel dans une attribution adjacente ou voisine.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

2.4.1 Réseaux à satellite OSG

Les caractéristiques utilisées pour les stations terriennes OSG sont données au Tableau 57. Chacun des réseaux du satellite OSG consiste en un seul satellite OSG. Les informations pour tous les paramètres des systèmes OSG ne sont pas disponibles. Ces paramètres sont indiqués dans les tableaux par la mention «ND».

TABLEAU 57

Caractéristiques de la liaison montante des stations terriennes de liaison montante OSG

Système	Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Service		SFS/SMS	SMS	SMS	SMS	SFS
Polarisation		Circulaire gauche/droite	ND	ND	ND	Circulaire droite/gauche
Modulation		AMRF/MDP-4	MRF/MRT/MDP-4	MDP-4	MDP-4	ND
Largeur de bande (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
p.i.r.e. (dBW)	77	62	53,2	67,5	61,5	44,3
Gain d'antenne (dBW)	63,7	43,9	57,2	45,7	55,2	44,3
Puissance d'émission (dBW)	13,3	18,1	-4	21,8	6,3	0
Nombre de stations		10	Illimité	-	-	600 000

2.4.2 Réseaux non OSG

Les caractéristiques des stations terriennes non OSG figurent au Tableau 58.

TABLEAU 58

Caractéristiques des stations terriennes de liaison montante non OSG

Système	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1	LEOSAT-2
Service	SMS	SMS	SFS	SFS
Orbite	Circulaire	Circulaire	Circulaire	Circulaire
Altitude (km)	780	10 355	700	1 400
Inclinaison (degrés)	86	50	98,2	48
Satellites dans le plan	11	4	40	9
Plans	6	3	21	7
Séparation dans le plan (degrés)	32,7	90	9	
Phasage de plan (degrés)	31,6	30	Aléatoire	
Polarisation	Circulaire droite	Circulaire gauche	Circulaire gauche/droite	
Modulation	AMRF/MDP-4	AMRC	AMRF en MDP-4 modelé	
Largeur de bande (kHz)	4 370	2 500	500 000	311 000
p.i.r.e. (dBW)	43,5	54,25	15,2-33,6	50,8-60,4
Gain d'antenne (dBi)	56,3	64,8	36	
Puissance d'émission (dBW)	-12,8	-10,55	-2,4	

3 Seuil de brouillage

Le brouillage peut être simultanément reçu de plusieurs sources provenant de multiples services. Les valeurs qui figurent dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) sont le niveau maximum de brouillage admissible pour le détecteur passif. Donc, le seuil de compatibilité est -163 dBW dans une largeur de bande de 100 MHz. La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un service actif unique. Des travaux ultérieurs sont nécessaires pour traiter de l'impact de ces services actifs multiples au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

L'analyse suivante se fonde sur certains cas géométriques statiques qui sont assez significatifs.

Pour chaque cas, la méthode est appliquée en deux temps.

Dans un premier temps on calcule l'affaiblissement requis lorsque les liaisons montantes du SFS sont sur la même fréquence que la bande du SETS (passive). Le brouillage reçu en provenance d'une porteuse est alors comparé avec le seuil de brouillage du détecteur. La différence est l'affaiblissement requis des émissions hors bande qui doit être obtenu pour protéger le SETS. De plus, dans l'analyse ci-après, on suppose que la densité spectrale de puissance brouilleuse reçue est constante sur toute la bande SETS de 200 MHz (31,3-31,5 GHz).

Dans un deuxième temps on utilise la représentation spectrale en cosinus surélevé décrite à l'Annexe 1, et on détermine la bande de garde minimale qui serait nécessaire (la séparation entre les attributions passive et active) pour protéger le détecteur passif.

4.2 Calculs des niveaux de brouillage pour les détecteurs à balayage conique

Les Tableaux 59 et 60 calculent la p.i.r.e. de la puissance rayonnée verticalement par un seul émetteur sur la Terre qui correspond au seuil de brouillage des détecteurs. Deux scénarios sont traités: celui du lobe principal de l'antenne du détecteur et celui du lobe latéral du détecteur.

4.2.1 Détermination de la puissance sur la Terre au niveau du seuil

Le Tableau 59 donne les paramètres de calcul des seuils de brouillage du faisceau principal du détecteur et des lobes latéraux à la surface de la Terre.

TABLEAU 59

Traduction du seuil de brouillage au faisceau principal et lobes latéraux Terre-détecteur

Détecteur à balayage conique	Faisceau principal du détecteur	Lobes latéraux du détecteur
Seuil de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Gain d'antenne (dBi)	42	0
Altitude (km)	815	815
Portée (km)	1 081	815
Affaiblissement en espace libre (dB)	-182,8	-180,4
Affaiblissement atmosphérique (dB)	-1	-1
Perte de polarisation (circulaire à linéaire) (dB)	-3	-3
p.i.r.e. à la Terre correspondant au seuil du détecteur (dB(W/100 MHz))	-18,2	21,5

4.2.2 Calculs avec les réseaux OSG et non OSG

Les résultats sont présentés aux Tableaux 60 et 61.

TABLEAU 60

Marge de brouillage à la fréquence d'accord pour systèmes OSG

Système	GSO-Ka-1	Terminal résidentiel GSO	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-B	GSO-13
<i>Cas 1 – Faisceau principal de l'émetteur</i>							
Faisceau principal à balayage conique (dB)	-92,3	-66,8	-73,3	-70,5	-85,8	-79,8	-62,6
Lobe latéral à balayage conique (dB)	-52,5	-27	-33,5	-30,7	-46	-40	-22,8
<i>Cas 2 – Lobe latéral de l'émetteur</i>							
Faisceau principal à balayage conique (dB)	-18,9	-11,3	-19,4	-3,3	-30,1	-14,6	-8,3
Lobe latéral à balayage conique (dB)	+20,9	+28,5	+20,4	+36,5	+9,7	+15,4	+31,5

TABLEAU 61

Marge de brouillage à la fréquence d'accord pour systèmes non OSG

Système	LEOSAT-2	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
<i>Cas 1 – Faisceau principal de l'émetteur</i>				
Faisceau principal à balayage conique (dB)	-73,8	-61,8	-72,55	-44,9
Lobe latéral à balayage conique (dB)	-34,0	-22,0	-32,75	-5,1
<i>Cas 1 – Faisceau principal de l'émetteur</i>				
Faisceau principal à balayage conique (dB)	ND	-5,5	-7,75	-8,9
Lobe latéral à balayage conique (dB)	ND	+34,3	+32,05	+30,9

4.3 Sondeur de nadir «en peigne»: Calcul du niveau de brouillage

Pour l'analyse, on a adopté les hypothèses de base suivantes:

- Le brouillage survient via un couplage direct entre le détecteur passif et les antennes de la station terrienne SFS.
- Les deux antennes sont modélisées selon la Recommandation UIT-R F.1245.
- En essayant d'identifier les configurations les plus défavorables possibles, on suppose que la direction de pointage de la station terrienne SFS/SMS (visant l'orbite géostationnaire dans le cas d'un système SFS/SMS OSG) est contenue dans le plan orbital du satellite d'exploration de la Terre. Cette configuration rend possible des voies de brouillage entre lobe latéral du détecteur vers lobe principal de station terrienne et de lobe principal du détecteur vers lobe latéral de station terrienne. Les voies de brouillage de lobe principal à lobe principal sont également possibles; dans le cas de systèmes OSG, cela ne peut arriver qu'avec des stations terriennes situées près de l'équateur; dans le cas de systèmes non OSG, cela peut arriver n'importe où. Leur probabilité d'apparition devrait être étudiée plus avant dans une analyse dynamique qui n'est pas effectuée dans la présente étude.
- On suppose que la station terrienne SFS est située à une latitude de 35°. Cette valeur a été choisie comme bon compromis pour représenter un scénario de «cas le plus défavorable» de lobe latéral de détecteur vers lobe principal de station terrienne, parce qu'il peut représenter la plus basse latitude au-dessus de laquelle les stations terriennes ont la distribution la plus dense et où, à cause de l'angle d'incidence relativement élevé de la voie de brouillage (environ 49°), la protection naturelle, due à l'affaiblissement du trajet plus les pertes par l'absorption atmosphérique, est la plus faible.
- L'analyse dynamique du § 4.4 considérera les latitudes entre 0° et 50° N pour obtenir une gamme étendue de résultats.

4.3.1 Calcul avec les réseaux OSG et non OSG

Sachant que les scénarios les plus critiques sont ceux qui impliquent simultanément une forte p.i.r.e. et/ou une grande largeur de bande nécessaire, trois systèmes OSG sont choisis sur ces critères pour une analyse détaillée; ce sont le «GSO-G», le «GSO-Ka-1» et le «GSO-20» (voir le Tableau 57).

En considérant seulement le faisceau de nadir du détecteur en peigne passif, on calcule les paramètres suivants, en fonction de la distance latitudinale entre le détecteur passif et la station terrienne SFS/SMS:

- distance linéaire entre le détecteur et la station terrienne (km);
- angles de décalage entre la ligne de visibilité détecteur/station terrienne et l'axe principal de l'antenne;
- les gains mutuels des antennes du détecteur et des stations terriennes en direction de chacune d'elles;
- affaiblissement spatial;
- absorption atmosphérique selon l'angle d'élévation de la voie;
- puissance reçue par le détecteur passif;
- marge par rapport au seuil de brouillage;
- taille de la zone à la surface de la Terre, où les données du sondeur sont contaminées par le brouillage.

Le problème est plus complexe dans le cas de stations terriennes non OSG, parce que, dans ce cas, la direction de pointage de la station terrienne est un paramètre variable: une station terrienne spécifique peut pointer dans n'importe quelle direction (angles d'élévation et d'azimut).

Pour simplifier, la présente étude se limite à une configuration similaire à celle adoptée pour le cas SFS OSG, où on n'examine pas les scénarios de lobe principal à lobe principal. Il est cependant clair que le résultat sera une évaluation très optimiste de la situation réelle.

Dans le cas de systèmes SFS OSG, les configurations de lobe principal à lobe principal ne peuvent survenir qu'avec des stations terriennes situées près de l'équateur.

Dans le cas de systèmes SFS non OSG, cette configuration peut survenir partout dans la zone de couverture du satellite SFS.

La configuration est décrite à la Fig. 42, et les principaux paramètres géométriques de l'analyse y sont indiqués.

4.3.2 Résultat de l'analyse

Les Fig. 43, 44 et 45 contiennent des résultats détaillés sous forme graphique pour les trois systèmes OSG choisis. Alors que le satellite d'exploration de la Terre se déplace dans la direction de la station terrienne, un premier événement survient lorsque le détecteur croise le lobe principal de la station terrienne. Puis survient un second événement lorsque le détecteur est proche du zénith de la station terrienne. Les configurations de lobe principal à lobe principal sont possibles près du zénith des stations terriennes situées près de l'équateur. Dans ce cas, l'excès de puissance est augmenté par la discrimination de l'antenne de la station terrienne (différence entre lobe principal et lobes distants).

FIGURE 43

Puissance reçue par le détecteur passif provenant d'une station terrienne GSO-20

Puissance reçue dans la bande attribuée par un détecteur passif en provenance d'une station terrienne SFS/SMS GSO-20
(Cas de cofréquence, station terrestre à 35° de latitude)

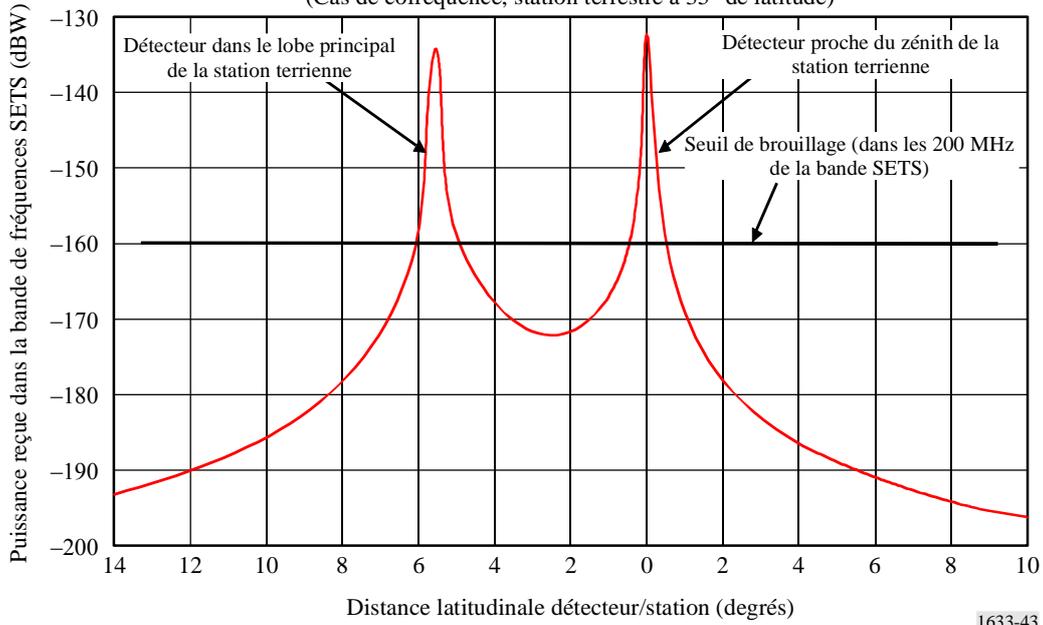


FIGURE 44

Puissance reçue par le détecteur passif provenant d'une station terrienne GSO-Ka-1

Puissance reçue par un détecteur passif d'une station terrienne GSO-Ka-1
(Cas cofréquence, station terrestre à 35° de latitude)

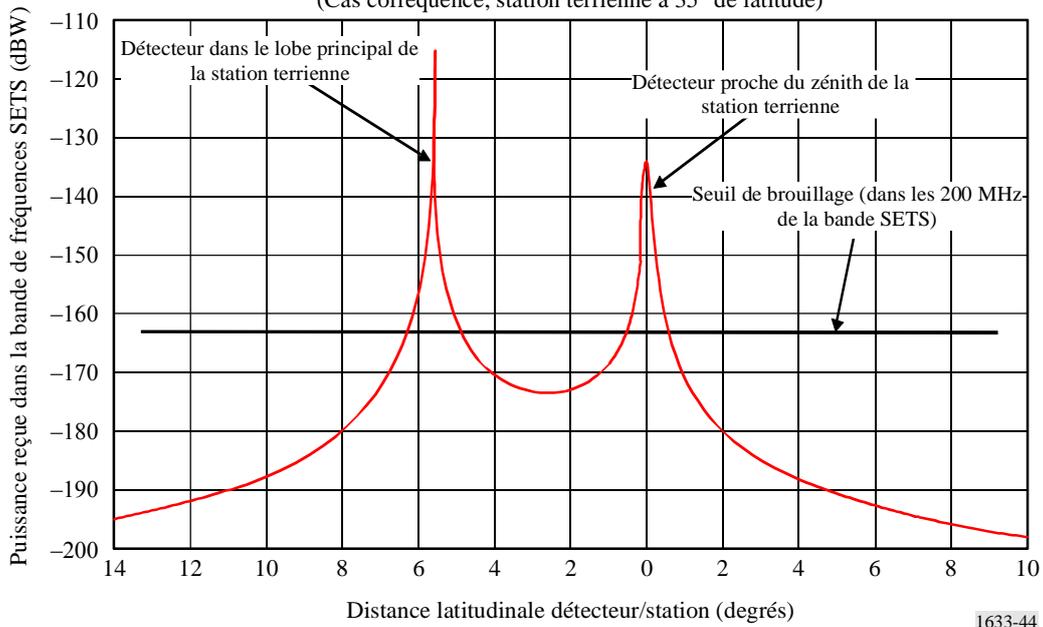
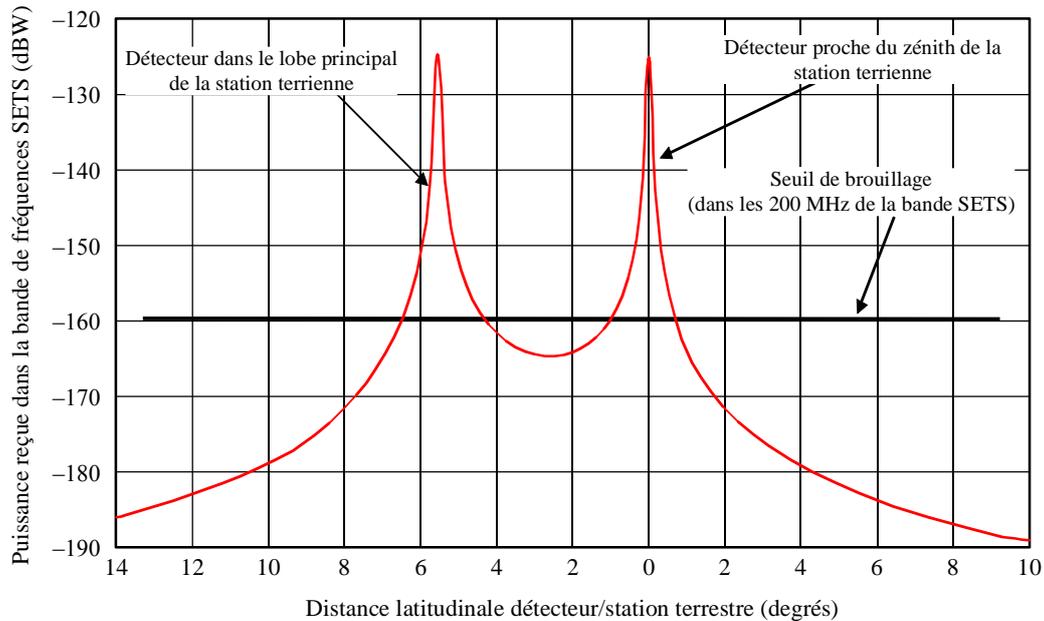


FIGURE 45

Puissance reçue par le détecteur passif provenant d'une station terrienne GSO-G

(Puissance reçue dans la bande attribuée par le détecteur passif en provenance d'une station terrestre GSO-G SMS)

(Cas de cofréquence, station terrienne à 35° de latitude)



1633-45

Les résultats pour les autres systèmes OSG et non OSG, qui ne sont pas analysés en détail, sont déduits des résultats ci-dessus en comparant respectivement les gains d'antenne et la puissance transmise.

4.3.3 Discussion des résultats

Evènements de brouillage survenant lorsque le détecteur passif est dans le lobe principal de la station terrestre du service SFS (voir le Tableau 62).

TABLEAU 62

Excédent de puissance au-dessus du seuil de brouillage – Détecteur dans le lobe principal de la station terrienne (hypothèse de cofréquence)

	Systèmes OSG SFS/SMS					
	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Excédent dans tous les faisceaux d'antenne (dB)	44,8	25,8	21	35,3	29,3	12,1
Zone contaminée (km ²)	100 × 2 200	120 × 2 200	18 × 2 200	245 × 2 200	42 × 2 200	40 × 2 200
Pixels contaminés/événement	6 lignes de balayage	7,5 lignes de balayage	1 ligne de balayage	16 lignes de balayage	2,6 lignes de balayage	2,5 lignes de balayage
Durée d'un événement (s)	15	18	2,7	37	6,3	6

Il y a jusqu'à 35,3 dB (système GSO-G) au-dessus du seuil de brouillage du détecteur passif. Ils durent jusqu'à 37 s, ce qui est à comparer à la période orbitale du détecteur passif qui est de 100 min. Dans la mesure où les faisceaux d'antenne du détecteur sont activés en permanence, plusieurs lignes complètes de balayage (de 90 pixels chacune) peuvent être perdues à chaque événement; cela nous mène à environ 1 440 pixels perdus par événement dans le cas du réseau OSG-G. Dans la mesure où le satellite d'exploration de la Terre est presque en orbite polaire, la condition requise pour le brouillage est une coïncidence dans les $\pm 0,6^\circ$ autour de la longitude de la station terrienne. La probabilité d'occurrence de tels événements devrait être étudiée plus en détail, en considérant en particulier les paramètres de dérive d'orbite du détecteur passif, la densité et la latitude des stations terriennes et les critères de disponibilité des détecteurs passifs. Du fait de l'ampleur des événements, on peut cependant douter que leur probabilité d'occurrence puisse être négligée.

Brouillage survenant lorsque le détecteur passif est proche du zénith de la station terrienne SFS (voir le Tableau 63).

TABLEAU 63

Excès de puissance au-dessus du seuil de brouillage – Détecteur proche du zénith de la station terrienne (hypothèse de cofréquence)

	Systèmes SFS/SMS OSG					
	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Faisceau de nadir (dB)	25,9	27,7	8,7	34,9	17,1	13,5
Faisceaux hors nadir de $\pm 50^\circ$ (dB)	22,1	23,86	4,86	31,06	13,26	9,7
Zone contaminée (km)	Φ : 78	Φ : 94	Φ : 23	Φ : 191	Φ : 34	Φ : 27
Pixels contaminés/événement	24	35	2	143	4,4	2,8
Durée d'un événement (s)	12	14	3,4	29	5	4

Il atteint 35 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur. Cela est très préoccupant parce que le champ de vision à 100° du détecteur en peigne (traversant la piste) est composé d'environ 90 faisceaux d'antenne adjacents, activés en permanence, créant une zone longitudinale de $\pm 10,25^\circ$ autour de la position de la station terrienne, où le détecteur peut recevoir un brouillage préjudiciable dans tout faisceau d'antenne;

Le brouillage va donc intervenir lorsque l'une ou l'autre des conditions géométriques suivantes sont satisfaites:

- le détecteur croise la latitude de la station terrienne;
- le détecteur est à une distance longitudinale de $\pm 10,25^\circ$ de la station terrienne.

Cette configuration est décrite à la Fig. 46.

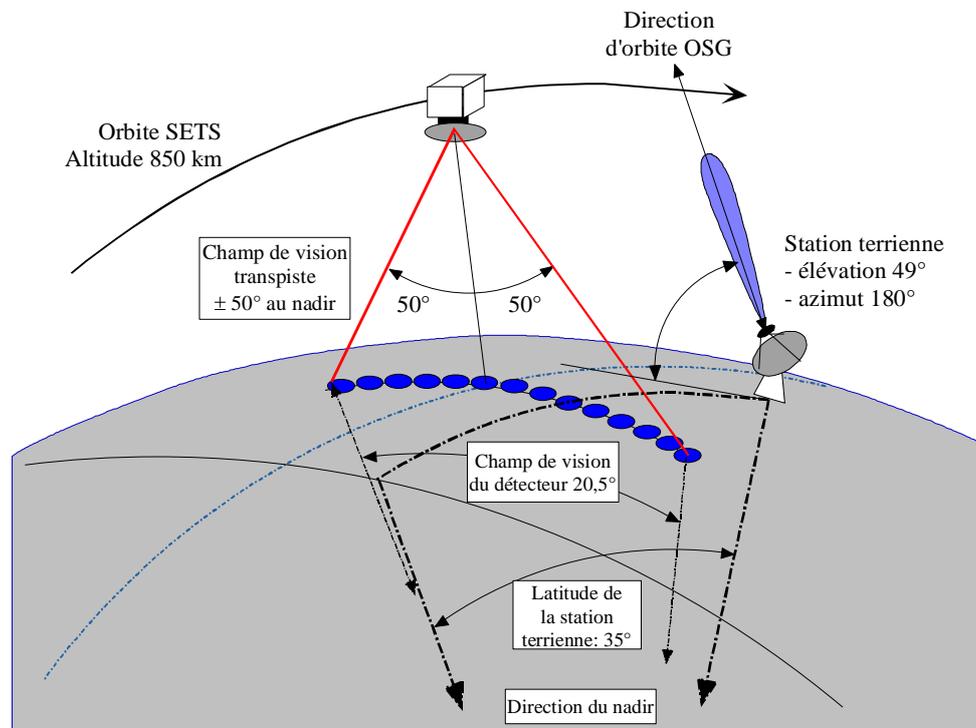
En considérant que la distance longitudinale entre deux orbites successives est d'environ 25° à l'équateur, la conséquence est que le fonctionnement d'un détecteur passif sera grevé par un événement de brouillage environ deux fois par jour de la part d'une seule station terrienne, en

considérant les trajets orbitaux ascendant et descendant. La probabilité est de 100%. Le nombre d'évènements augmente avec la latitude de la station terrienne, alors que la distance entre les orbites successives décroît avec le cosinus de la latitude. Il est directement proportionnel au nombre des stations terriennes.

FIGURE 46

Cas spécifique du détecteur en peigne

(Configuration de station terrienne SFS/SMS brouillant un détecteur en peigne)



1633-46

Les principales caractéristiques de chaque évènement de brouillage sont les suivantes, dans le cas d'une station terrienne SFS GSO-G:

- la durée est d'environ 29 s;
- une zone circulaire de la surface de la Terre d'environ 191 km de diamètre autour de la position de la station terrienne est contaminée par le brouillage préjudiciable;
- cette zone de 28 600 km², correspondant à 140 pixels, est à comparer à la zone de service de référence du détecteur de 2 000 000 km² qui est décrite dans les Recommandations UIT-R SA.1028 et UIT-R SA.1029;
- le critère de non-disponibilité de 0,01 % est largement dépassé dans le voisinage des stations terriennes.

Noter que l'excès de puissance peut dépasser 100 dB dans le cas de stations terriennes situées près de l'équateur (coïncidences de lobe principal à lobe principal). A côté de la perte massive de données, cela peut causer des dommages aux récepteurs du détecteur passif.

Brouillage provenant de stations terriennes SFS non OSG (voir le Tableau 64).

TABLEAU 64

Excédent de puissance au-dessus du seuil de brouillage (hypothèse de cofréquence)

Détecteur proche du zénith de la station terrienne	Systèmes SFS/SMS non OSG		
	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
Excédent minimum, faisceau de nadir du détecteur (dB)	12,7	4,5	12
Excédent maximum, faisceau de nadir du détecteur (dB)	80	70	80
Excédent minimum, faisceaux hors nadir de $\pm 50^\circ$ (dB)	6,7	aucun	6

Comme dans le cas SFS OSG, l'événement «proche du zénith» (voir la Fig. 47) survient deux fois par jour à toutes les stations terriennes avec en plus, la possibilité d'une voie de brouillage de lobe principal à lobe principal pour laquelle une analyse dynamique est nécessaire.

Le Tableau 64 récapitule les résultats, en montrant le cas «minimum» où survient le brouillage de lobe principal à lobe distant (la station terrienne), et le cas «maximum» où la coïncidence de lobe principal à lobe principal est établie.

On voit clairement que si le cas «minimum» n'induit que des brouillages relativement mineurs similaires aux cas SFS OSG les plus faibles, la survenance possible de «pointes de dépassement» est un sérieux sujet de préoccupation avec les systèmes qui ont une grande largeur de bande nécessaire. Des études ultérieures du cas «maximum» conduiront vraisemblablement à une situation difficile dans laquelle l'application de gabarits hors bande pourrait être insuffisante.

4.4 Analyse de brouillage dynamique

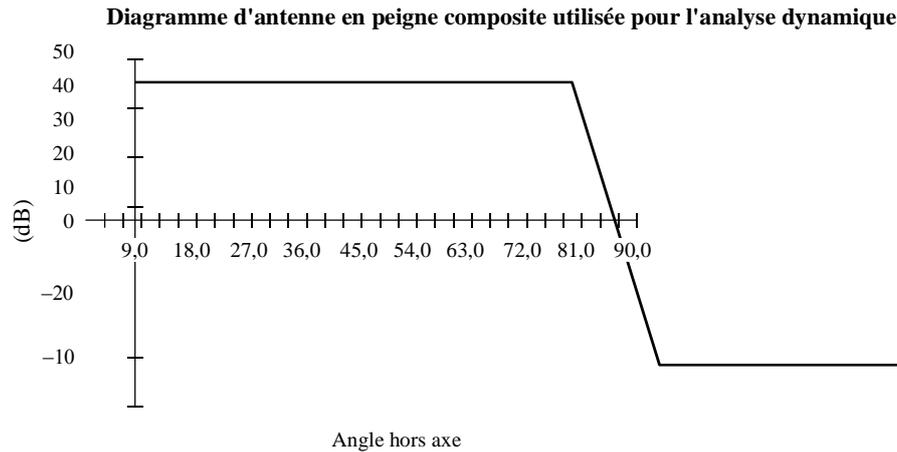
En plus des cas statique et semi-statique ci-dessus, une analyse dynamique est nécessaire afin de prendre en compte le pourcentage du temps pendant lequel intervient le brouillage. Comme indiqué ci-dessus, le seuil de -163 dBW ne doit pas être dépassé de plus de 0,01% du temps dans une largeur de bande de 100 MHz.

On a fait des simulations pour déterminer la probabilité de brouillage en utilisant un incrément de temps de 5 s afin d'obtenir des résultats précis. Les simulations sont arrêtées lorsque la fonction de distribution cumulative devient stable. De plus, on a noté que toutes les simulations présentées ci-dessous ne traitent que du satellite à sondeur de nadir «en peigne» parce que les cas statique et semi-statique ci-dessus ont montré qu'il s'agit du cas le plus défavorable.

4.4.1 Modélisation de l'antenne en peigne

Comme expliqué ci-dessus, l'antenne en peigne est capable de voir une ligne complète de pixels situés autour du nadir à $\pm 50^\circ$ pour l'azimut, et dans les $\pm 0,55^\circ$ pour l'élévation. Le gain d'antenne maximum est de 45 dBi, et, comme il est habituel pour les antennes de radiomètre, il y a une forte décroissance du niveau du lobe latéral de -12 dBi. La Fig. 47 suivante montre le diagramme d'antenne selon l'angle hors axe de l'azimut.

FIGURE 47



1633-47

4.4.2 Calculs dynamiques avec des systèmes OSG

TABLEAU 65

**Analyse dynamique entre système GSO-20 et SETS avec une seule station
terrienne fonctionnant sur le site N0, E0**

Distribution cumulative (%)	4,2	1	0,1	0,08	0,01	0,003
Sondeur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 500 MHz)	-210	-193	-175	-163	-134	-75

Le Tableau 65 montre qu'il est possible de trouver une différence de 88 dB entre le seuil de -163 dBW et la puissance maximum reçue par le radiomètre de -75 dBW. Un tel niveau risque de causer un dommage au détecteur.

TABLEAU 66

**Analyse dynamique entre système GSO-20 et SETS avec une seule station
terrienne fonctionnant sur le site N50, E0**

Distribution cumulative (%)	6,8	1	0,09	0,01	0,003
Sondeur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 500 MHz)	-212	-188	-163	-134	-129

TABLEAU 67

**Analyse dynamique entre système GSO-Ka-1 et SETS avec une seule station
terrienne fonctionnant sur le site N0, E0**

Distribution cumulative (%)	4,2	1	0,07	0,01	0,003
Sondeur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 186,6 MHz)	-212	-197	-163	-136	-129

Selon les Tableaux ci-dessus, il y a un risque que le satellite SETS subisse un brouillage lorsqu'une seule station fonctionne (ou que le pourcentage de données brouillées soit supérieur à ce qui est acceptable). En les prenant dans la largeur de bande relative, les affaiblissements spectraux requis sont de 22 dB pour GSO-20 et 24,3 dB pour Ka-1.

On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus élevé de stations terriennes fonctionnent dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans les Tableaux 65 à 67. Accroître le nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques augmentera vraisemblablement le pourcentage du temps pendant lequel le critère du SETS sera dépassé. Dans cette éventualité, les conclusions tirées au § 4.5 au sujet de la taille des bandes de garde requises devront être réévaluées.

4.4.3 Calculs dynamiques avec des systèmes non OSG

TABLEAU 68

Analyse dynamique entre un système non OSG SMS-LEO-B et le SETS avec six stations terriennes fonctionnant à intervalles réguliers le long de l'équateur

Distribution cumulative (%)	24,2	1	0,1	0,01	0,003
Sondeur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 2,5 MHz)	-236	-208	-163	-152	-150

Selon le Tableau 68, il y a un risque que le satellite SETS subisse du brouillage lorsque six stations terriennes fonctionnent (ou que le pourcentage de données brouillées est supérieur à ce qui est acceptable). Dans ce cas, l'affaiblissement spectral requis est de 11 dB pour SMS-LEO-B.

On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus élevé de stations terriennes fonctionnent dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans le Tableau 68. Accroître le nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques augmentera vraisemblablement le pourcentage du temps pendant lequel le critère du service SETS est dépassé. Dans cette éventualité, les conclusions tirées au § 4.5 au sujet de la taille des bandes de garde requises devront être réévaluées.

4.5 Application des gabarits hors bande à l'émission d'une station terrienne SFS

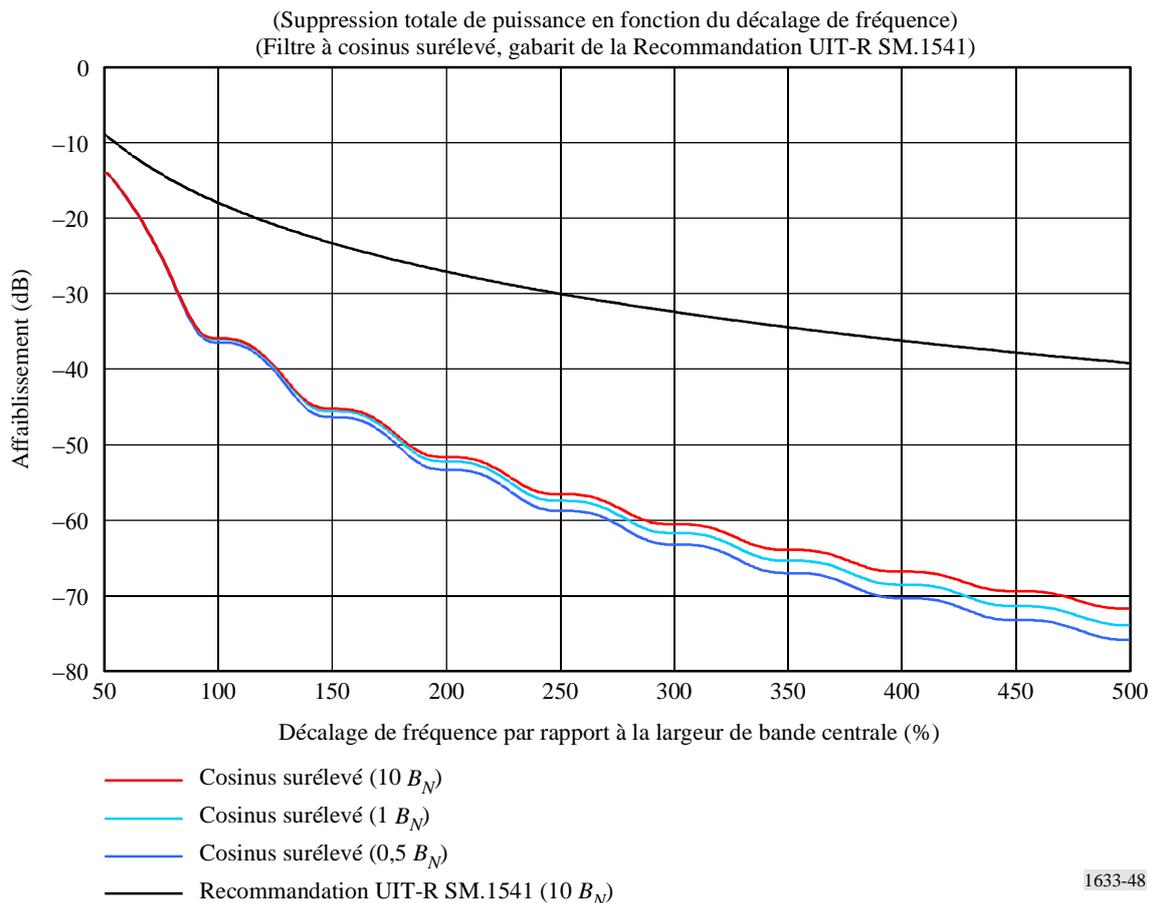
Considérons maintenant que les stations terriennes SFS émettent dans leur propre bande de fréquences. La suppression de leur puissance émise dans la bande adjacente attribuée au service SETS (passive) devrait être, par exemple:

- 25,9 à 44,8 dB pour le système GSO Ka-1 (24,3 dB en utilisant l'analyse dynamique), sans prendre en compte l'occurrence possible des configurations de lobe principal à lobe principal dans le cas de stations terriennes proches de l'équateur.
- 12,7 dB pour le système LEO-A non OSG.
- 11 dB pour le système LEO-B non OSG.

La Fig. 48 représente la puissance tombant dans l'attribution au SETS, en fonction de la bande de garde. Pour couvrir les diverses caractéristiques des émissions SFS, on effectue l'intégration glissante pour trois valeurs de la bande passive, exprimées en terme de pourcentage de la largeur de bande nécessaire du SFS (1 000, 100 et 50%). Il y a seulement une différence mineure entre les trois courbes.

FIGURE 48

Affaiblissement de la puissance hors bande contenue dans la largeur de bande SETS



1633-48

Noter qu'à la Fig. 48, le décalage de fréquence est pris à partir du centre de la largeur de bande nécessaire. Ceci servira à déterminer la distance minimale entre le centre de la largeur de bande nécessaire et la limite supérieure de la bande attribuée au SFS, qui est requise pour protéger la bande adjacente attribuée au SETS contre les rayonnements non désirés du SFS.

De plus, une séparation de 300 MHz est fournie par l'attribution aux services fixe et mobile entre les bandes attribuées au SFS et au SETS, dans la bande 31-31,3 GHz. Donc la séparation de fréquence minimum entre le centre de la largeur de bande nécessaire, qui est la référence dans le gabarit, est définie comme $B_N/2 + 300$ MHz.

Donc la bande de garde supplémentaire requise a un décalage par rapport au centre de $B_N - (B_N/2 + 300)$ MHz).

4.5.1 Sondeur de nadir en peigne

En supposant que ce gabarit soit adopté et représente de façon fiable les caractéristiques spectrales réelles des émetteurs SFS, les conditions suivantes peuvent être calculées, et elles sont résumées dans les Tableaux 69 et 70 pour les systèmes SFS OSG, et dans le Tableau 71 pour les systèmes SFS non OSG (cas minimum et maximum). La dernière ligne de ces Tableaux indique la bande de garde supplémentaire qui serait nécessaire pour protéger les détecteurs passifs contre les rayonnements non désirés dans la bande 31,3-31,5 GHz.

TABLEAU 69

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs
contre les stations terriennes SFS OSG (lobes distants du détecteur
dans le lobe principal de la station terrienne)**

	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Suppression de puissance requise (dB)	44,8	25,8	21	35,3	29,3	12,1
Largeur de bande nécessaire (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
Bande passive (% B_N)	107	40	160	> 1 000	> 1 000	> 1 000
Décalage par rapport au centre B_N (% B_N)	145	75	70	90	80	50
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	271	375	88	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 70

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger les
détecteurs passifs contre les stations terriennes SFS OSG
(détecteur proche du zénith de la station terrienne)**

	GSO-Ka-1	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Suppression de puissance requise (dB)	25,9	27,7	8,7	34,9	17,1	13,5
Largeur de bande nécessaire (MHz)	186,6	500	125	0,0768	0,0768	0,340
Bande passive (% B_N)	107	40	160	> 1 000	> 1 000	> 1 000
Décalage par rapport au centre B_N (% B_N)	80	80	50	–	–	–
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	150	400	63	–	–	–
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 71

**Récapitulation des bandes de garde nécessaires pour protéger les
détecteurs passifs contre les stations terriennes SFS non OSG
(détecteur proche du zénith de la station terrienne)**

	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
Suppression minimum de puissance requise (dB)	12,7	4,5	12
Largeur de bande nécessaire (MHz)	4,37	2,5	500
Bande passive (% B_N)	> 1 000	> 1 000	40
Décalage par rapport au centre B_N (% B_N)	50	< 50	50
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	Négligeable	Négligeable	250
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0
Suppression maximale de puissance requise (dB)	80	70	80
Décalage par rapport au centre B_N (% B_N)	550	450	550
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	24	6,25	2 750
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	2 200

- Pour tous les systèmes OSG considérés dans cette étude, l'application d'un gabarit «à cosinus surélevé» résout la plupart des problèmes de risques de brouillage causés par les liaisons Terre vers espace entre stations terriennes et satellites. Cependant, il faut étudier plus avant (par analyse dynamique) la probabilité de configurations de lobe principal à lobe principal qui existent pour les stations terriennes situées près de l'équateur, qui pourraient conduire à une augmentation très significative des niveaux de brouillage indiqués dans le Tableau 65 (jusqu'à environ 88 dB);
- La conclusion est similaire avec les réseaux non OSG, excepté pour les systèmes ayant une forte largeur de bande nécessaire due à la plus forte probabilité de coïncidences de lobe principal à lobe principal. Le système LEOSAT-1 soulève des problèmes particuliers du fait de la grande largeur de bande nécessaire et à cause de son orbite, proche d'une orbite SETS. Il pourrait en résulter des coïncidences de lobe principal à lobe principal de longue durée, conduisant à des événements de brouillage inacceptables et la possibilité de dommages aux récepteurs du détecteur, même avec l'application du gabarit à cosinus surélevé. Cependant, en considérant le grand nombre de satellites spécifiés dans le concept du système ci-dessus, la mise en œuvre réelle de ce réseau est peu vraisemblable dans cette configuration (840 satellites initialement prévus).

4.5.2 Détecteurs à balayage conique

Sur la base des résultats présentés aux Tableaux 60 et 61, les Tableaux 72 et 73 présentent le décalage minimum de fréquence entre le centre de la largeur de bande nécessaire et la limite inférieure de la bande attribuée, qui est requise pour protéger le détecteur passif contre le brouillage généré par les liaisons montantes SFS. Les décalages de fréquence sont calculés sur la base du gabarit à cosinus surélevé.

Noter que le décalage minimum de fréquence est de la moitié de la largeur de bande nécessaire, c'est-à-dire 50%.

Il faut noter qu'il y a une séparation de 300 MHz entre l'attribution SFS/SMS et l'attribution SETS (passive). Donc la séparation minimum de fréquence entre le centre de la largeur de bande nécessaire, qui est la référence dans le gabarit, est de $B_N/2 + 300$ MHz.

Les zones ombrées dans les tableaux indiquent que les marges sont positives et qu'aucun brouillage préjudiciable n'est prévu. Elles figurent comme aide à la lecture pour visualiser l'étendue du problème du brouillage

TABLEAU 72

Calcul du décalage de fréquence requis pour protéger la bande passive attribuée en utilisant le gabarit à cosinus surélevé (systèmes OSG)

Système	GSO-Ka-1	Terminal résidentiel GSO	GSO-20	GSO-F	GSO-G	GSO-H	GSO-13
Largeur de bande nécessaire (MHz)	186,6	3	500	125	0,0768	0,0768	0,340
<i>Cas 1 – Lobe principal de l'émetteur</i>							
Lobe principal à balayage conique (dB)	-92,3	-66,8	-73,3	-70,5	-85,8	-79,8	-62,6
Décalage par rapport au centre B_N (%)	> 1 000	394	533	475	957	725	329
Décalage par rapport au centre B_N	> 1,9 GHz	11,8 MHz	2,7 GHz	594 MHz	0,8 MHz	0,6 MHz	1,2 MHz
Bande de garde supplémentaire requise	> 1,5 GHz	0	2,15 GHz	232 MHz	0	0	0
Lobe latéral à balayage conique (dB)	-52,5	-27	-33,5	-30,7	-46	-40	-22,8
Décalage par rapport au centre B_N (%)	217	78	88	83	165	125	71
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	405	2,4	440	104	0,13	0,96	0,25
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	12	0	0	0	0	0	0
<i>Cas 2 – Lobe latéral de l'émetteur</i>							
Lobe principal à balayage conique (dB)	-18,9	-11,3	-19,4	-3,3	-30,1	-14,6	-8,3
Décalage par rapport au centre B_N (%)	65	50	70	50	80	50	50
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	122	1,5	350	125	0,07	0,04	0,17
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0	0	0	0
Lobe latéral à balayage conique (dB)	+20,9	+28,5	+20,4	+36,5	+9,7	+15,4	+31,5

TABLEAU 73

**Calcul du décalage de fréquence requis pour protéger la bande passive attribuée
en utilisant le gabarit à cosinus surélevé (systèmes non OSG)**

Système	LEOSAT-2	LEO-A	LEO-B	LEOSAT-1
Largeur de bande nécessaire (MHz)	311	4,37	2,5	500
<i>Cas 1 – Faisceau principal de l'émetteur</i>				
Lobe principal à balayage conique (dB)	-73,8	-61,8	-72,55	-44,9
Décalage par rapport au centre B_N (%)	547	323	523	142
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	1 700	14,2	13,1	710
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	1 250	0	0	160
Lobe latéral à balayage conique (dB)	-34,0	-22,0	-32,75	-5,1
Décalage par rapport au centre B_N (%)	89	75	87	50
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)	277	3,3	2,2	250
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	0	0	0
<i>Cas 2 – Lobe latéral de l'émetteur</i>				
Lobe principal à balayage conique (dB)	ND	-5,5	-7,75	-8,9
Décalage par rapport au centre B_N (%)		50	50	50
Décalage par rapport au centre B_N (MHz)		2,2	1,25	250
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)		0	0	0
Lobe latéral à balayage conique (dB)	ND	+34,3	+32,05	+30,9

Dans la plupart des cas, il apparaît que l'application du gabarit à cosinus surélevé est une solution satisfaisante pour protéger les détecteur passifs contre les rayonnements non désirés générés par les stations terriennes non OSG et OSG du service SFS, sauf dans le cas de coïncidences de lobe principal à lobe principal et de l'impact agrégé de multiples stations terriennes dans des simulations dynamiques qui demandent encore à être étudiées plus avant.

Cependant, quelques systèmes utilisant simultanément une forte largeur de bande nécessaire et une forte p.i.r.e. soulèvent de sérieux problèmes dans le cas de configurations de lobe principal à lobe principal. Ce sont les GSO-Ka-1, le GSO-20 et le LEOSAT-2 pour lesquels le décalage de fréquence requis pour protéger la bande passive n'est pas praticable. Ces systèmes devraient être examinés à nouveau.

5 Technique de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Ce sujet doit faire l'objet d'études supplémentaires.

5.2 SFS et SMS

Les résultats de l'analyse (voir les Tableaux 60 et 61 pour le détecteur à balayage conique et les Tableaux 62 à 64 pour le détecteur de nadir) indiquent que dans la plupart des cas, la séparation de 300 MHz entre les attributions SFS et SETS et l'application du gabarit de cosinus surélevé offrent une protection adéquate des détecteurs passifs. Certaines questions critiques impliquant l'alignement de lobe principal à lobe principal avec les systèmes mettant simultanément en œuvre une forte p.i.r.e. et une largeur de bande nécessaire importante restent non résolues et devront être étudiées plus avant. Comme la probabilité de coïncidences de lobe principal à lobe principal peut être forte dans le cas de systèmes SFS non OSG et dans le cas de stations terriennes SFS OSG proches de l'équateur, on ne peut pas mettre en œuvre de décalages de fréquence supplémentaires avec de tels systèmes, dans le but de fournir une protection de l'attribution passive adjacente.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

L'impact potentiel sur le SETS (passive) ne peut pas être évalué tant que les techniques de réduction des brouillages (§ 5.1) ne sont pas finalisées.

5.3.2 SFS et SMS

La présente Annexe se fonde sur l'utilisation de la représentation spectrale par cosinus surélevé. Les implications d'une telle représentation spectrale sont en cours d'examen au sein de l'UIT-R.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La présente Annexe a traité de la question de la protection de la bande passive 31,3-31,5 GHz en tenant compte de divers détecteurs SETS. Selon les caractéristiques SFS, le niveau au-dessus du seuil peut être de l'ordre de 88 dB dans le cas d'alignement de lobe principal à lobe principal: un tel niveau peut endommager les détecteurs.

Il faut noter que, pour la plupart des réseaux OSG et non OSG qui ont été examinés dans l'étude, la protection de la bande SETS (passive) de 31,3-31,5 GHz tire parti de la séparation de 300 MHz entre les deux services si un affaiblissement approprié est utilisé. Cependant, il sera nécessaire de procéder à des études complémentaires pour d'autres types de réseau.

Il faut noter que, en raison du manque d'informations sur l'utilisation réelle de la bande 30-31 GHz par les systèmes SFS/SMS et sur les caractéristiques appropriées des systèmes, les caractéristiques des systèmes SFS/SMS utilisés dans une bande voisine ont été supposées pour les besoins de l'étude. Donc, on peut s'attendre à ce que certaines des conclusions de la présente Annexe soient modifiées.

6.2 Conclusions

Cette analyse montre que des travaux complémentaires sur les techniques de réduction des brouillages applicables sont nécessaires. Sauf pour le cas spécifique de l'alignement de lobe principal à lobe principal (qui a une probabilité inférieure à 0,01% de survenir conformément à l'analyse dynamique) et de l'impact cumulé de stations terriennes multiples dans la simulation dynamique qui requiert des travaux complémentaires sur la base des caractéristiques connues des systèmes SFS/SMS utilisés dans l'étude, la bande 31,3-31,5 GHz peut être protégée si la réduction du brouillage par la méthode du cosinus surélevé est utilisée ou toute technique de modulation procurant une réduction similaire ou meilleure.

Annexe 15

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 31,3-31,5 GHz et les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 31-31,3 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 31-31,3 GHz est attribuée au service fixe et est adjacente à la bande 31,3-31,5 GHz attribuée au SETS. La présente Annexe donne les calculs des niveaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe fonctionnant au-dessous de 31,3 GHz qui peuvent tomber dans la bande 31,3-31,5 GHz.

Il faut noter que conformément au numéro 5.340 du RR, toutes les émissions sont interdites dans la bande 31,3-31,5 GHz.

Les attributions adjacentes à la bande passive 31,3-31,5 GHz sont indiquées dans le Tableau 74.

TABLEAU 74

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Services dans la bande attribuée supérieure
31-31,3 GHz	31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz
FIXE MOBILE Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (espace vers Terre) Recherche spatiale 5.544	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive)	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) Fixe (Régions 1 et 3) Mobile sauf mobile aéronautique (Régions 1 et 3)

1.2 Application

Cette bande est une des bandes utilisées pour le sondage atmosphérique proche du nadir avec des bandes telles que celles des 23,8 GHz et des 50,3 GHz pour la caractérisation de chaque couche de l'atmosphère terrestre.

Dans la bande des 31 GHz, il faut une largeur de bande de 416 MHz pour obtenir une précision à 0,2 K près. Cela signifie que la communauté des utilisateurs des systèmes passifs à hyperfréquences doit protéger à la fois la bande 31,3-31,5 GHz et la bande 31,5-31,8 GHz.

Cette bande sera aussi utilisée conjointement avec la bande 31,5-31,8 GHz comme «fenêtre partagée». Cela permettra une comparaison des mesures effectuées dans les deux sous-bandes pour vérifier la qualité des données. Cela permettra alors d'utiliser la bande complète, lorsque la qualité est bonne, pour augmenter la sensibilité du détecteur.

1.3 Critères de protection requis

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

On considère les caractéristiques de fonctionnement suivantes pour le système SETS:

- Le détecteur SETS est supposé avoir une antenne avec un gain de crête de 45 dBi.
- Le détecteur SETS pointe dans la direction du nadir.
- La taille de pixel pour un détecteur à une altitude de 850 km est de 201 km² (16 km de diamètre).

2 Service fixe

2.1 Bande attribuée

Voir le Tableau 74.

2.2 Application

Cette bande peut être utilisée à la fois pour les systèmes du service fixe point à point et pour les systèmes du service fixe P-MP.

2.3 Niveaux fondés sur des documents existants de l'UIT

Les Recommandations suivantes de l'UIT-R donnent des informations sur les rayonnements non désirés des systèmes du service fixe:

Recommandation UIT-R F.1191 – Largeurs de bande et rayonnements non désirés des systèmes numériques du service fixe.

Recommandation UIT-R SM.329 – Rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels.

Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les caractéristiques suivantes ont été prises en compte pour les systèmes du service fixe point à point et P-MP fonctionnant dans cette bande.

TABLEAU 75

**Caractéristiques des systèmes point à point
(Recommandation UIT-R F.758)***

Espacement entre canaux (MHz)	56	3,5
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	45	45
Affaiblissement alim./multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Type d'antenne	Parabolique	Parabolique
Puissance de sortie d'émission maximum (dBW)	0	0
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	45	45

* La Recommandation UIT-R F.758 ne fournissant aucune information sur les systèmes point à point à déployer dans cette bande, ces paramètres se fondent sur ceux de systèmes à déployer dans la bande 37-39,5 GHz, avec le gain d'antenne approprié.

TABLEAU 76

**Caractéristiques des systèmes P-MP
(Recommandation UIT-R F.758)**

Espacement entre canaux (MHz)	50	2,5
Direction d'émission	Concentrateur à RT	RT à concentrateur
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	15	36
Affaiblissement alim./multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Type d'antenne	Cornet 15° × 90°	Parabolique 2° × 2°
Puissance de sortie d'émission maximum (dBW)	10	4
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	25	40

RT: terminal distant (*remote terminal*)

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

2.5.1 Caractéristiques de fonctionnement point à point

On propose d'utiliser dans un premier temps une densité de terminaux de 1 terminal par km²*.

2.5.2 Caractéristiques de fonctionnement P-MP

On propose d'utiliser dans un premier temps une densité de terminaux de 0,3 terminal par km²*.

- *Réutilisation des fréquences*: une réutilisation des fréquences de 2 est habituellement utilisée et est considérée comme un scénario typique. Un facteur de réutilisation des fréquences de 1 est à considérer comme une situation de cas le plus défavorable, ce qui arrive rarement.

* Il faut noter que ces chiffres représentent une approche de cas le plus défavorable et seront affinés pour obtenir un nombre réaliste de systèmes de service fixe dans chacune des bandes considérées.

- *Antenne sectorielle*: la largeur type d'antenne sectorielle est 90°. Dans certains cas, des antennes sectorielles de 45° sont prévues lorsque de grandes quantités de capacités de trafic doivent être transportées à partir du site d'une station.

Sur la base de ces considérations, un concentrateur de cellule de diffusion P-MP peut typiquement desservir deux abonnés sur le même canal au sein d'une cellule donnée.

2.6 Puissance émise dans la bande

Voir le Tableau 75 et le Tableau 76.

3 Seuil de compatibilité (le cas échéant)

Le critère de protection du détecteur passif est de –163 dBW dans une largeur de bande de 100 MHz (à ne pas dépasser de plus de 0,01% du temps comme stipulé par la Recommandation UIT-R SA.1029).

Le brouillage peut être reçu simultanément de plusieurs sources provenant de plusieurs services. Les valeurs dont la liste figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) sont le niveau de brouillage maximum admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif.

Des travaux complémentaires sont nécessaires pour traiter de l'impact de ces services actifs multiples fonctionnant au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

La première étape de cette approche est de calculer la puissance acceptable résultant du déploiement de systèmes de services fixe qui peuvent tomber dans un pixel du SETS.

La puissance agrégée à la Terre dans 100 MHz = critères de protection SETS (dB(W/100 MHz)) – gain SETS + affaiblissement en espace libre.

Il est alors possible de calculer le niveau des rayonnements non désirés par système du service fixe tombant dans la largeur de bande de référence SETS de 100 MHz:

Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz)) = puissance agrégée à la Terre dans 100 MHz – nombre d'émetteurs (en pixels SETS) – gain service fixe dans la direction SETS

4.2 Calcul

Pour les systèmes point à point, la Recommandation UIT-R F.1245 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de terminaux fonctionnant à la même fréquence est supposée être d'un par km².

Pour les stations terminales P-MP, la Recommandation UIT-R F.1245 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. Pour les stations centrales P-MP, la Recommandation UIT-R F.1336 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de sites de stations centrales fonctionnant à la même fréquence est supposée être de 0,3 terminal par km². Sur le même site, deux stations centrales peuvent utiliser la même fréquence en supposant une antenne sectorielle de 90°. Donc au sein de la même cellule, deux stations terminales peuvent utiliser la même fréquence.

TABLEAU 77

Niveau des rayonnements non désirés acceptables par système point à point du service fixe tombant dans la bande SETS

Fréquence (GHz)	31,3	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	181	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	-27	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	-47,1	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	56	3,5
Gain d'antenne service fixe	45	45
Gain service fixe dans la direction SETS	-12,3	-12,3
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	-34,8	-34,8
Densité de systèmes par km ²	1,0	1,0
Taille de pixel (km ²)	201	201
Nombre d'émetteurs	201	201
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	-57,8	-57,8
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	-37,8	-37,8

TABLEAU 78

Niveau des rayonnements non désirés acceptables par système du service fixe P-MP tombant dans la bande SETS

Fréquence (GHz)	31,3	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	181	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	-27	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	-47,1	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	50	2,5
Gain d'antenne service fixe	15	36
Gain service fixe dans la direction SETS	-11,6	-10,1
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	-35,5	-37,0
Densité de systèmes par km ²	0,6	0,6
Taille de pixel (km ²)	201	201
Nombre d'émetteurs	121	121
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	-56,3	-57,8
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	-36,3	-37,8

4.3 Valeur obtenue

4.3.1 Niveau des rayonnements non désirés fondé sur des Recommandations de l'UIT-R

En première approche, seuls les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels sont pris en compte (si la bande de garde est plus grande que le domaine des émissions hors bande). Alors, les niveaux d'affaiblissement fournis dans l'Appendice 3 du RR et la Recommandation UIT-R SM.329 sont utilisés pour calculer les niveaux de rayonnements non désirés provenant du service fixe qui tombent au sein du domaine des rayonnements non essentiels (décalage supérieur à 250% de la largeur de bande nécessaire ou de la séparation de canal par rapport à la fréquence centrale du signal de service fixe). Dans le cas de systèmes du service fixe, l'affaiblissement spécifié à l'Appendice 3 du RR devrait être, en dBc, le minimum de 70 dBc ou $(43 + 10 \log (P))$.

Sur la base de l'approche de première étape, pour un système fonctionnant avec une puissance de sortie de 0 dBW et un espacement entre canaux de 56 MHz (voir le Tableau 74), la limite des rayonnements non essentiels pour ce système est:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB dans une largeur de bande de référence de 1 MHz}$$

Le Tableau 79 donne le niveau de rayonnements non essentiels qui peuvent tomber dans une largeur de bande de référence de 100 MHz.

TABLEAU 79

Calcul du niveau des rayonnements non essentiels qui peuvent tomber dans une largeur de bande de 100 MHz

Système du service fixe	Niveau des rayonnements non essentiels par MHz (dBW)	Niveau des rayonnements non essentiels par 100 MHz (dBW)
Point à point 56 MHz (Tableau 75)	-43	-23
Point à point 3,5 MHz (Tableau 75)	-43	-23
P-MP 50 MHz (Tableau 76)	-43	-23
P-MP 2,5 MHz (Tableau 76)	-43	-23

Cette approche de première étape conduit à la conclusion que même si on ne considère que les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels, les critères de protection SETS ne sont pas satisfaits.

4.3.2 Précision des calculs

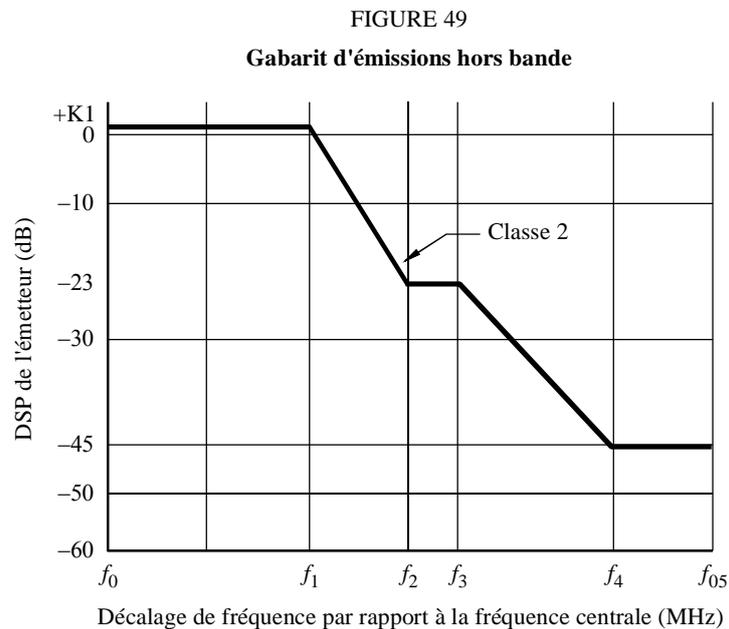
Dans la mesure où la première étape du calcul a montré que les critères de brouillage SETS ne seront pas satisfaits, la précision des calculs va prendre en compte les caractéristiques des systèmes de rayonnement non désiré qui seront déployés dans cette bande. En particulier, les paragraphes qui suivent se fondent sur les caractéristiques des systèmes décrits à l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI, *European Telecommunications Standard Institute*). L'approche, qui est décrite dans les paragraphes qui suivent, a été utilisée au sein de la Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (CEPT) pour calculer la bande de garde requise de telle sorte que les rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe qui tombent dans la bande SETS satisfassent aux critères de brouillage SETS donnés au § 4.2 (-37,8 dB(W/100 MHz)). Ces résultats ont été pris en compte pour développer les dispositions de canaux pour les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 31-31,3 GHz.

4.3.2.1 Systèmes du service fixe point à point

4.3.2.1.1 Gabarits d'émissions hors bande pour les systèmes point à point

Pour les besoins de ces analyses, on considère le gabarit hors bande donné dans la Norme ETSI EN 300 197 qui donne le gabarit hors bande pour les systèmes radioélectriques fixes, les équipements point à point, et les paramètres pour les systèmes radioélectriques de transmission de signaux numériques fonctionnant à 32 GHz et 38 GHz.

L'analyse considère le cas le plus défavorable de gabarit d'émissions hors bande donné dans la Norme ETSI EN 300 197, ce qui conduit à considérer les gabarits suivants (voir la Fig. 49).



1633-49

NOTE 1 – Le niveau 0 dB indiqué sur les gabarits spectraux se rapporte à la DSP de la fréquence centrale nominale sans considération de la porteuse résiduelle.

Le Tableau 80 donne les valeurs de f_i selon l'espacement entre canaux, qui peut s'étendre de 3,5 MHz à 56 MHz selon la Norme ETSI EN 300 197.

TABLEAU 80

Points de rupture du gabarit d'émissions hors bande

Espacement entre canaux (MHz)	K1 (dB)	f_1 (MHz)	f_2 (MHz)	f_3 (MHz)	f_4 (MHz)	f_5 (MHz)
3,5	+1	1,3	2	2,3	4,3	8,75
7	+1	2,8	5,6	7	14	17,5
14	+1	5,6	11,2	14	28	35
28	+1	11	19	25	45	70
56	+1	18	32	40	70	140

4.3.2.1.2 Niveaux des rayonnements non essentiels pour les systèmes point à point

La Recommandation UIT-R SM.329 donne des informations sur les niveaux des rayonnements non essentiels, en particulier, cette analyse considère les niveaux adoptés en Europe et utilisés par certains autres pays (niveaux de catégorie B).

Pour les systèmes point à point fonctionnant avec un espacement entre canaux supérieur à 10 MHz, la limite des rayonnements non essentiels est de -60 dB(W/MHz).

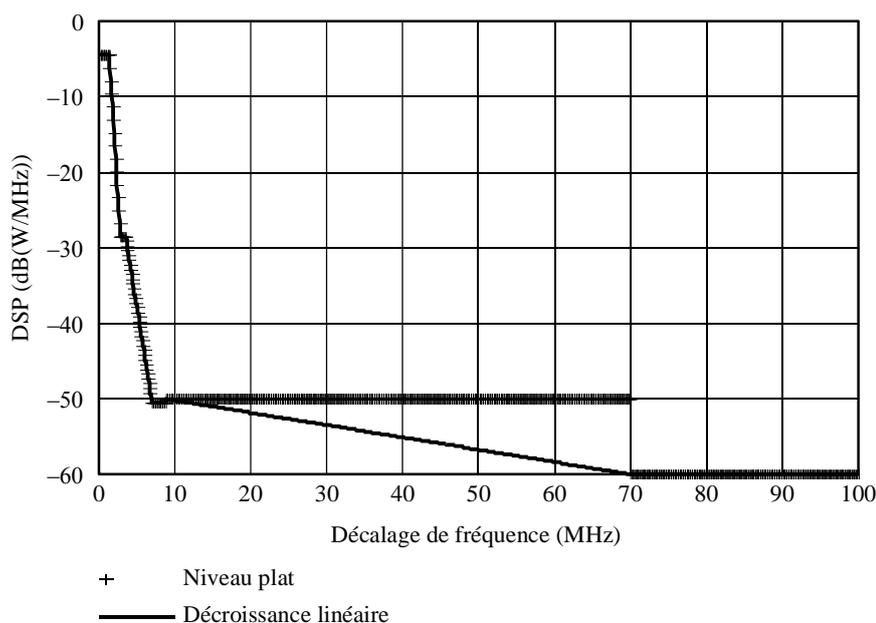
Dans le cas de systèmes point à point fonctionnant avec un espacement entre canaux inférieur à 10 MHz, il y a une étape avant d'atteindre cette valeur de -60 dB(W/MHz). A partir d'un décalage de $2,5 \times$ espacement entre canaux par rapport à la fréquence centrale jusqu'à un décalage de 70 MHz, la limite est égale à -50 dB(W/MHz) (ou -60 dBW dans une largeur de bande de référence de 100 kHz).

Dans le cas de systèmes point à point fonctionnant avec un espacement entre canaux inférieur à 10 MHz, pour obtenir des résultats plus réalistes, on fait l'hypothèse qu'il y a une décroissance linéaire entre le point à -50 dB(W/MHz) sur le gabarit et le point correspondant au niveau de -60 dB(W/MHz).

La Fig. 50 donne un exemple de gabarit de rayonnements non désirés pour un système utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz.

FIGURE 50

Niveau de rayonnements non désirés pour un système à espacement entre canaux de 3,5 MHz



Gabarit de rayonnement non désiré pour un système AMRF (0 dB/ $3,5$ MHz/ $f_c = 31\ 250$ MHz)

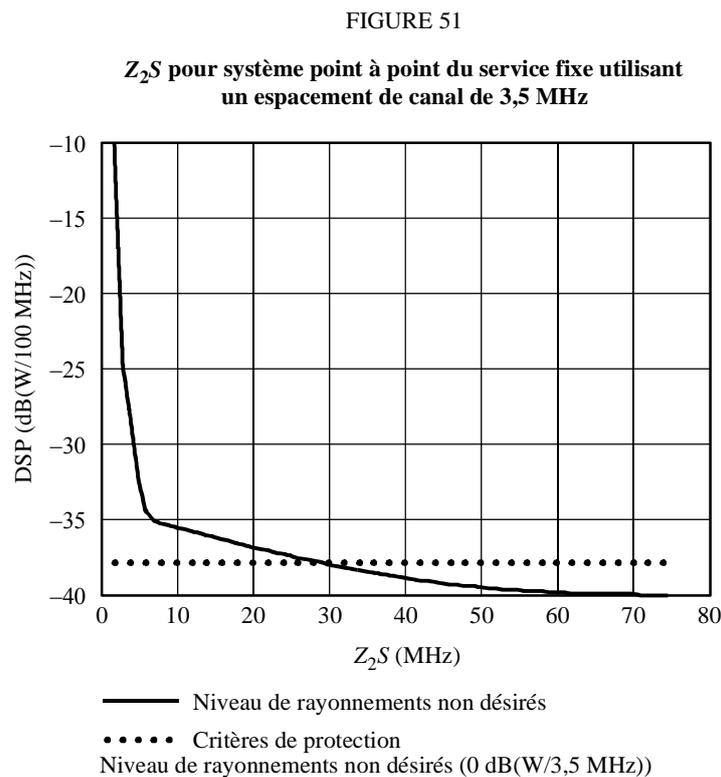
4.3.2.1.3 Résultats des calculs pour les systèmes point à point

Les paragraphes suivants calculent les niveaux de rayonnements non désirés qui peuvent être reçus par le système SETS dans une largeur de bande de référence de 100 MHz, selon la bande de garde.

On notera que les normes ETSI donnent une puissance de sortie maximum de 0 dBW pour les systèmes point à point qui doivent être développés dans cette bande.

4.3.2.1.3.1 Espacement entre canaux point à point de 3,5 MHz

La Fig. 51 donne le résultat du calcul pour un système point à point à espacement entre canaux de 3,5 MHz.



1633-51

Le terme Z_2S est défini dans la Recommandation UIT-R F.746 comme la plus haute séparation entre la fréquence centrale du dernier canal et la bordure supérieure de la bande. Cela conduit à une bande de garde de $28,75 - 3,5/2 = 27$ MHz en supposant qu'il y a une décroissance linéaire entre le point à -50 dB(W/MHz) du gabarit et le point correspondant au niveau à -60 dB(W/MHz).

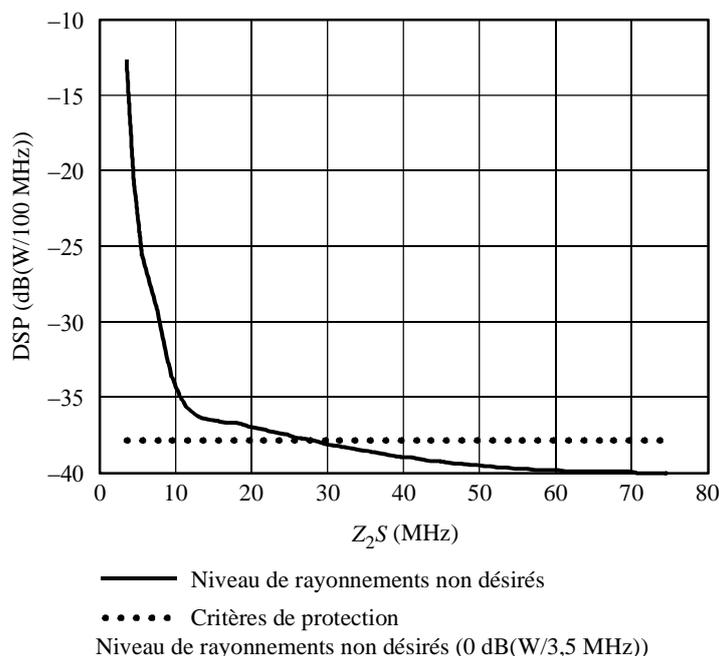
Dans ce cas, la bande de garde est plus grande que le domaine des émissions hors bande, et seuls les rayonnements non essentiels tomberont alors dans la bande SETS.

4.3.2.1.3.2 Systèmes point à point à espacement entre canaux de 7 MHz

La Fig. 52 donne le résultat du calcul pour un système point à point à espacement entre canaux de 7 MHz.

FIGURE 52

Z_2S pour système point à point du service fixe utilisant un espacement entre canaux de 7 MHz



1633-52

Le terme Z_2S est défini dans la Recommandation UIT-R F.746 comme la plus haute séparation entre la fréquence centrale du dernier canal et la bordure supérieure de la bande. Cela conduit à une bande de garde de $27,5 - 7/2 = 24$ MHz en supposant qu'il y a une décroissance linéaire entre le point à -50 dB(W/MHz) du gabarit et le point correspondant au niveau à -60 dB(W/MHz).

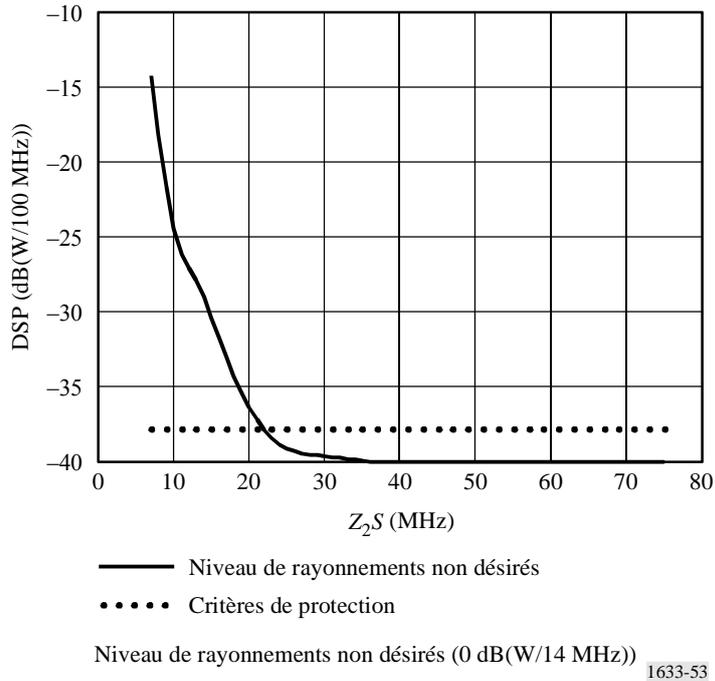
Dans ce cas, la bande de garde est plus grande que le domaine des émissions hors bande, et seuls les rayonnements non essentiels tomberont alors dans la bande SETS.

4.3.2.1.3.3 Systèmes point à point à espacement entre canaux de 14 MHz

Dans la mesure où l'espacement entre canaux est supérieur à 10 MHz, il n'est pas besoin dans ce cas de faire les hypothèses considérées dans la partie précédente pour les rayonnements non essentiels. La Fig. 53 donne le résultat du calcul pour un système point à point à espacement entre canaux de 14 MHz.

FIGURE 53

Z_2S pour un système du service fixe point à point à 0 dBW utilisant un espacement entre canaux de 14 MHz



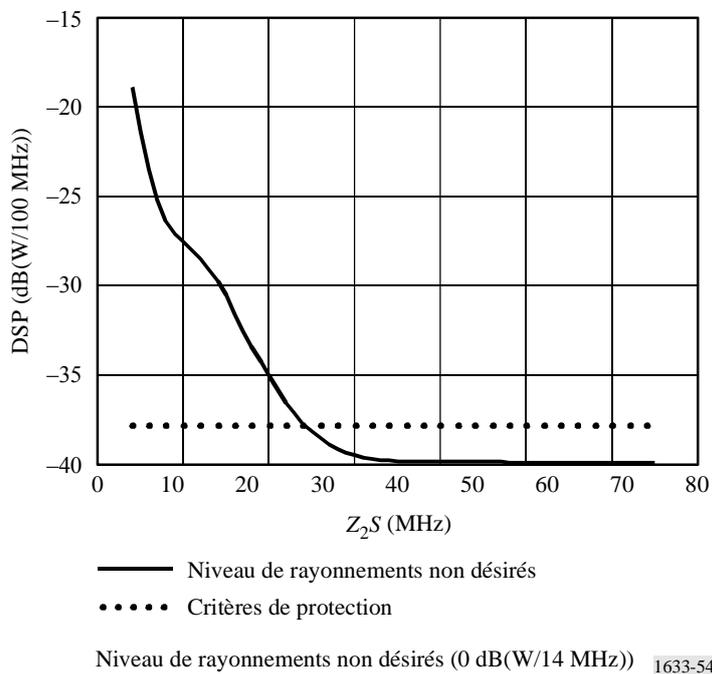
Cela conduit à une bande de garde de $22 - 14/2 = 15$ MHz.

4.3.2.1.3.4 Systèmes point à point à espacement entre canaux de 28 MHz

La Fig. 54 donne le résultat du calcul pour un système point à point à espacement entre canaux de 28 MHz.

FIGURE 54

Z_2S pour un système de service fixe point à point à 0 dBW utilisant un espacement entre canaux de 28 MHz



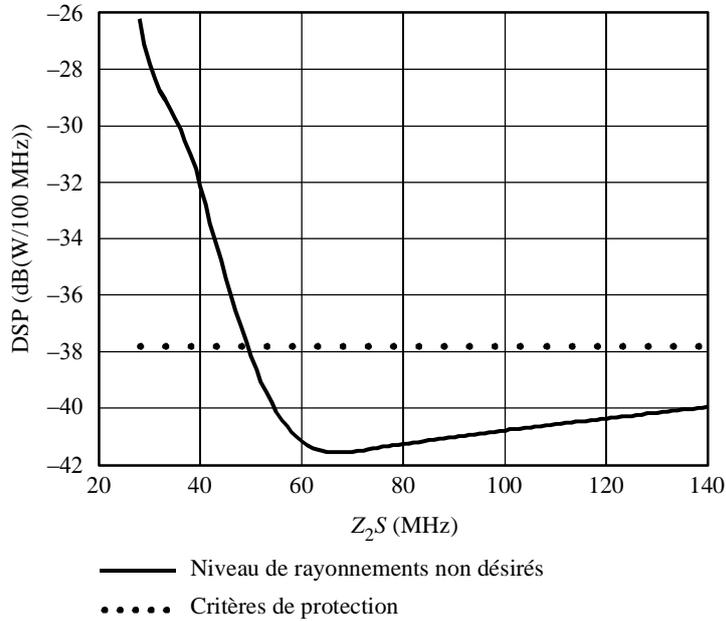
Cela conduit à une bande de garde de $34 - 28/2 = 20$ MHz.

4.3.2.1.3.5 Systèmes point à point à espacement entre canaux de 56 MHz

La Fig. 55 donne le résultat du calcul pour un système point à point à espacement entre canaux de 56 MHz.

FIGURE 55

Z_{2S} pour un système du service fixe point à point à 0 dBW utilisant un espacement entre canaux de 56 MHz



Niveau de rayonnements non désirés (0 dB(W/28 MHz)) 1633-55

Cela conduit à une bande de garde de $49 - 56/2 = 21$ MHz.

4.3.2.1.3.6 Résumé des résultats pour les systèmes point à point

Le Tableau 81 donne un résumé des résultats calculés pour les systèmes point à point utilisant un espacement entre canaux compris entre 3,5 MHz et 56 MHz.

TABLEAU 81

Bande de garde en fonction de l'espacement entre canaux

Espacement entre canaux (MHz)	<i>Z_{2S}</i> (MHz)	Bande de garde (MHz)
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	34	20
56	49	21

4.3.2.2 Systèmes du service fixe P-MP

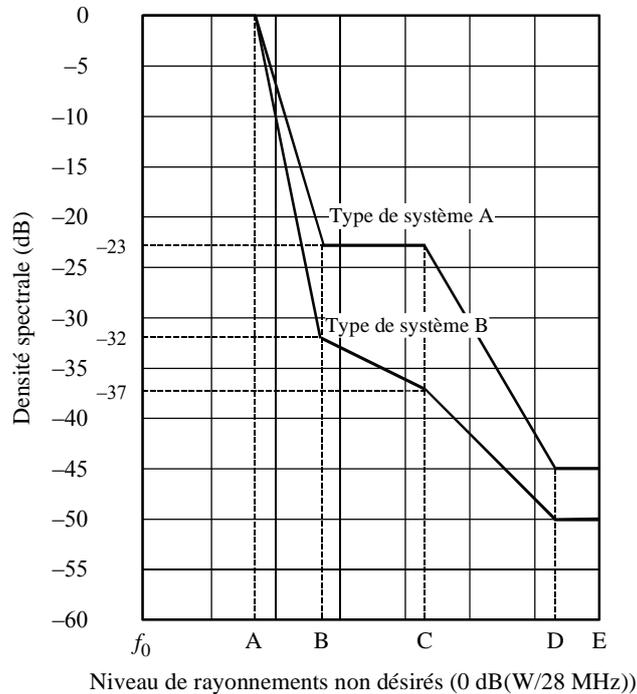
On notera que le niveau acceptable de rayonnements non désirés d'un système du service fixe P-MP qui est obtenu dans le cas d'une station terminale (voir le Tableau 79) est le même que le niveau acceptable de rayonnements non désirés d'un système du service fixe point à point (voir le Tableau 78).

4.3.2.2.1 Gabarits d'émissions hors bande pour les systèmes P-MP

Pour les besoins de ces analyses, on considère des gabarits hors bande donnés dans la norme ETSI qui fournissent des informations sur les systèmes radioélectriques fixes, les équipements multipoints, les systèmes radioélectriques numériques multipoints fonctionnant dans la gamme de fréquences de 31 GHz à 33,4 GHz (32 GHz). La première étape de l'analyse est de déterminer le cas le plus défavorable de gabarit d'émissions hors bande. Ceci conduit à considérer les cas suivants qui sont montrés à la Fig. 56.

FIGURE 56

Gabarits spectraux, types A et B



1633-56

Le Tableau 82 donne les points de rupture correspondants pour les systèmes de type A, en fonction de l'espacement entre canaux, qui peut s'étendre de 3,5 à 112 MHz selon la norme ETSI.

TABLEAU 82

Points de rupture du gabarit des émissions hors bande

Espacement entre canaux copolaires, points de la Fig. 56 (MHz)	Point A 0 dB (MHz)	Point B -23 dB (MHz)	Point C -23 dB (MHz)	Point D -45 dB (MHz)	Point E -45 dB (MHz)
3,5	1,5	2,8	3,7	7	8,75
7	2,8	5,6	7	14	17,5
14	5,6	11,2	14	28	35
28	11,2	22,4	28	56	70
56	22,5	45	56	112	140
112	45	90	112	224	280

Il faut noter que ces gabarits sont applicables à la fois aux stations terminales et aux stations de base.

4.3.2.2.2 Niveaux des rayonnements non essentiels pour les systèmes P-MP

L'EN 301 390 donne les niveaux des rayonnements non essentiels pour les systèmes point à point (les mêmes que ceux donnés dans la Recommandation UIT-R SM.329 à la catégorie B) et pour les systèmes P-MP.

Les Tableaux 83 et 84 font la comparaison des limites en fonction du type de système.

TABLEAU 83

Limites des rayonnements non essentiels dans le cas de systèmes utilisant un espacement entre canaux (EC) inférieur à 10 MHz

Décalage de fréquence	$2,5 \times EC - 56 \text{ MHz}$	56-70 MHz	70-112 MHz	> 112 MHz
Limite point à point (catégorie B) (dB(W/MHz))	-50	-50	-60	-60
Limite P-MP (EN 301 390) (dB(W/MHz))	-50	-60	-60	-70

TABLEAU 84

Limites des rayonnements non essentiels dans le cas de systèmes utilisant un espacement entre canaux (EC) supérieur à 10 MHz

Décalage de fréquence	$2,5 \times EC - \max(112 \text{ MHz}; 4,5 \times EC)$	> $\max(112 \text{ MHz}; 4,5 \times EC)$
Limite point à point (catégorie B) (dB(W/MHz))	-60	-60
Limite P-MP (EN 301 390) (dB(W/MHz))	-60	-70

4.3.2.2.3 Résultats des calculs pour les systèmes P-MP

On utilise la même approche que pour les systèmes point à point.

4.3.2.2.3.1 Systèmes P-MP à espacement entre canaux de 3,5 MHz et 7 MHz

Selon les calculs effectués au § 4.3.2.1.3.1, seuls les rayonnements non essentiels vont tomber dans la bande SETS (la bande de garde calculée pour les systèmes point à point est plus grande que le domaine des émissions hors bande).

Dans la mesure où:

- le niveau acceptable des rayonnements non désirés qui est obtenu dans le cas des systèmes P-MP (voir le Tableau 79) est le même que le niveau de rayonnements non désirés acceptable qui était examiné dans les analyses pour les systèmes point à point (voir le Tableau 78);
- les limites des rayonnements non essentiels pour les systèmes P-MP sont plus contraignantes que pour les systèmes point à point,

on peut directement en conclure que la bande de garde qui était calculée pour les systèmes point à point couvrira aussi le cas des systèmes P-MP.

4.3.2.2.3.2 Systèmes P-MP à espacement entre canaux de 14 MHz

Dans la mesure où:

- le gabarit des émissions hors bande pour les systèmes point à point et pour les systèmes P-MP est le même (voir le Tableau 80 et le Tableau 82);
- le niveau acceptable de rayonnements non désirés qui est obtenu dans le cas des systèmes P-MP (voir le Tableau 79) est le même que le niveau de rayonnements non désirés acceptable qui était examiné dans les analyses pour les systèmes point à point (voir le Tableau 78),

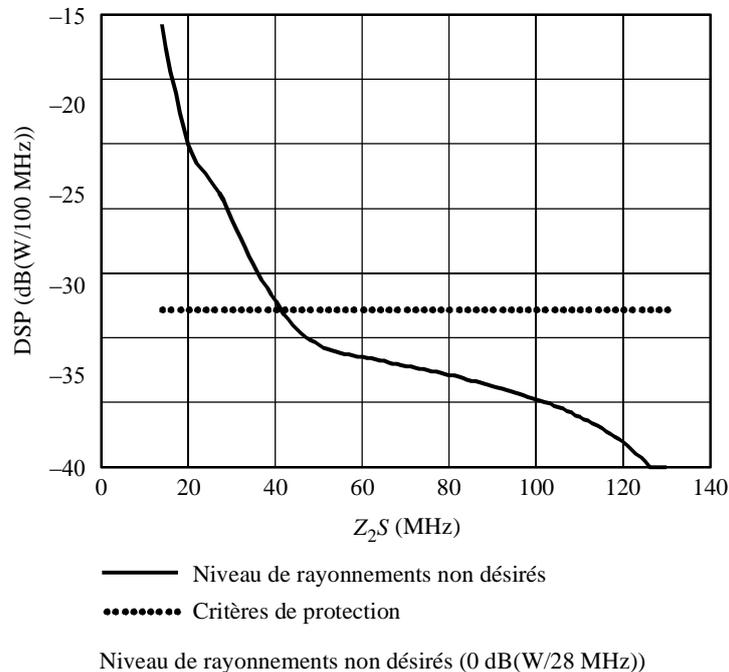
on peut directement en conclure que la bande de garde qui était calculée pour les systèmes point à point couvrira aussi le cas de l'espacement entre canaux de 14 MHz des systèmes P-MP.

4.3.2.2.3.3 Systèmes P-MP à espacement entre canaux de 28 MHz

La Fig. 57 donne le résultat du calcul pour un système P-MP à espacement entre canaux de 28 MHz.

FIGURE 57

Z_2S pour système P-MP à 0 dBW du service fixe utilisant un espacement entre canaux de 28 MHz



1633-57

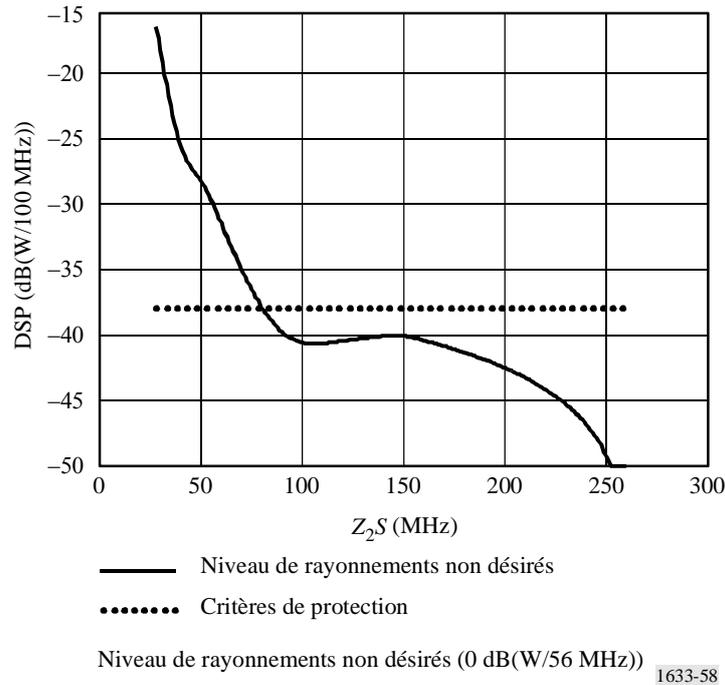
Le terme Z_2S est défini dans la Recommandation UIT-R F.746 comme la plus haute séparation entre la fréquence centrale du dernier canal et la bordure supérieure de la bande. Cela conduit à une bande de garde de $41 - 28/2 = 27$ MHz.

4.3.2.2.3.4 Systèmes P-MP à espacement entre canaux de 56 MHz

La Fig. 58 donne le résultat du calcul pour un système P-MP à espacement entre canaux de 56 MHz.

FIGURE 58

Z_2S pour système P-MP du service fixe à 0 dBW utilisant un espacement entre canaux de 56 MHz



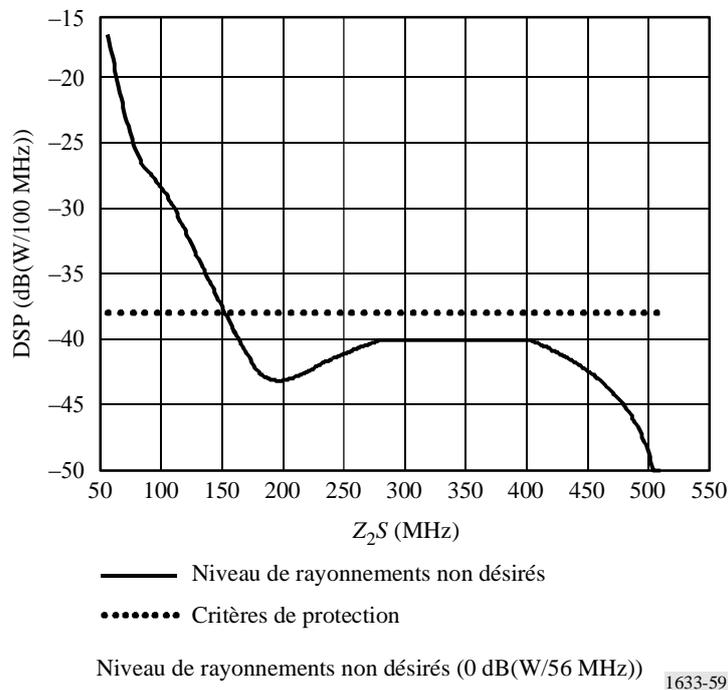
Ceci conduit pour une puissance de sortie de 0 dBW à une bande de garde de $80 - 56/2 = 52$ MHz.

4.3.2.2.3.5 Systèmes P-MP à espacement entre canaux de 112 MHz

La Fig. 59 donne le résultat du calcul pour un système P-MP à espacement entre canaux de 112 MHz.

FIGURE 59

Z_2S pour système point à point du service fixe à 0 dBW utilisant un espacement entre canaux de 112 MHz



Ceci conduit pour une puissance de sortie de 0 dBW à une bande de garde de $152 - 112/2 = 96$ MHz.

4.3.3 Résumé et conclusions pour les systèmes point à point et P-MP

Le Tableau 85 donne un résumé des résultats. Le Tableau 85 résume les résultats calculés pour les systèmes point à point et P-MP utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz à 112 MHz (y compris les résultats donnés dans le Tableau 81).

TABLEAU 85

Bande de garde en fonction de l'espacement entre canaux

Espacement entre canaux (MHz)	Z_2S (MHz)	Bande de garde (MHz)
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	41	27
56	80	52
112	152	96

Les plans d'espacement entre canaux à 56 MHz et 112 MHz ne sont pas inclus dans la disposition des canaux donnée à l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R F.746 à cause du nombre limité de canaux qu'ils permettraient. Spécifiquement, ils ne permettraient qu'un seul canal duplex à répartition en fréquence (DRF) pour un espacement de 56 MHz et un seul canal duplex à répartition dans le temps (DRT) pour un espacement entre canaux de 112 MHz. La disposition des canaux de l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R F.746 inclut une bande de garde de 31 MHz dans la partie supérieure de la bande 31-31,3 GHz.

On devrait noter que dans la mesure où la bande de garde incluse dans l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R F.746 est plus grande que la bande de garde minimum requise pour l'espacement entre canaux de 3,5, 7, 14 et 28 MHz, cela donne une marge additionnelle par rapport à la puissance acceptable donnée aux Tableaux 77 et 78.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Les systèmes SETS ne peuvent pas mettre en œuvre une bande de garde à la bordure inférieure de la bande SETS dans la mesure où ils ont besoin de fonctionner dans la totalité de l'attribution de 200 MHz.

5.2 Service fixe

L'utilisation d'une bande de garde de 31 MHz pour les systèmes déployés conformément à l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R F.746 et qui utilisent un gabarit plus contraignant pour les émissions hors bande que celui donné dans la Recommandation UIT-R SM.1541 et les limites pour les rayonnements non essentiels données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Catégorie B), assurent que les niveaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe tombant dans la bande 31,3-31,5 GHz satisfont à la puissance acceptable donnée aux Tableaux 77 et 78 (environ -38 dB(W/100 MHz)).

D'autres techniques de réduction des brouillages comme le filtrage peuvent aussi être utilisées pour s'assurer que la puissance maximum acceptable peut être satisfaite au sein de la bande passive.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS

Pas d'impact.

5.3.2 Service fixe

Si les systèmes du service fixe mettent en œuvre des techniques de réduction des brouillages utilisant à la fois les limites hors bande et les limites de rayonnements non essentiels données dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Catégorie B), l'impact reste encore à déterminer pour le service fixe dans les pays qui ne suivent pas de telles limites. Si le service fixe met en œuvre d'autres techniques pour satisfaire -38 dB(W/100 MHz), l'impact de ces techniques doit alors également être déterminé.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Dans cette Annexe, on a montré que les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 31-31,3 GHz déployés en Europe qui utilisent un gabarit plus contraignant pour les émissions hors bande que celui donné dans la Recommandation UIT-R SM.1541 et les limites de rayonnements non essentiels donnés dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Catégorie B) satisferont à la puissance de protection maximum acceptable de -38 dB(W/100 MHz). On notera que les densités de terminaux qui ont été considérées dans l'analyse de compatibilité représentent une approche du cas le plus défavorable et qu'elle devrait être précisée.

6.2 Conclusion

Lorsque les systèmes du service fixe suivent les dispositions de canaux donnés à l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R F.746 et satisfont à des limites plus contraignantes pour les rayonnements non désirés que celles données dans la Recommandation UIT-R SM.1541 et à l'Appendice 3 du RR, le niveau des rayonnements non désirés provenant des systèmes de service fixe déployés dans la bande 31-31,3 GHz peut satisfaire l'exigence de -38 dB(W/100 MHz), ce qui assurerait la compatibilité entre le service fixe fonctionnant dans la bande 31-31,3 GHz et le SETS fonctionnant dans la bande 31,3-31,5 GHz.

Annexe 16

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 31,5-31,8 GHz et les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 31,8-33,4 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 31,8-33,4 GHz est attribuée au service fixe et cette bande est adjacente à la bande 31,5-31,8 GHz attribuée au SETS. La présente Annexe donne les calculs des niveaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe fonctionnant au-dessus de 31,8 GHz qui peuvent tomber dans la bande 31,5-31,8 GHz.

Les attributions adjacentes aux bandes passives de 31,5-31,8 GHz sont indiquées au Tableau 86.

TABLEAU 86

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Service dans une bande attribuée supérieure
31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz	31,8-32 GHz
EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive)	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) Fixe (Régions 1 et 3) Mobile sauf mobile aéronautique (Régions 1 et 3)	FIXE RADIONAVIGATION RECHERCHE SPATIALE (espace lointain) (espace vers Terre)

1.2 Application

Cette bande est une des bandes utilisées pour le sondage atmosphérique proche du nadir avec des bandes telles que celles des 23,8 GHz et des 50,3 GHz pour la caractérisation de chaque couche de l'atmosphère terrestre.

Dans la bande des 31 GHz, il faut une largeur de bande de 416 MHz pour obtenir une précision à 0,2 K près. Cela signifie que la communauté des utilisateurs des systèmes passifs à hyperfréquences doit protéger à la fois la bande 31,3-31,5 GHz et la bande 31,5-31,8 GHz.

Cette bande sera aussi utilisée avec la bande 31,3-31,5 GHz comme «fenêtre partagée». Cela permet une comparaison des mesures effectuées dans les deux sous-bandes pour vérifier la qualité des données. Cela permet alors d'utiliser la totalité de la bande lorsqu'on s'attend à ce que la qualité soit bonne, pour augmenter la sensibilité du détecteur.

1.3 Critères de protection requis

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

On considère les caractéristiques de fonctionnement suivantes pour le système SETS:

- Le détecteur SETS est supposé avoir une antenne avec un gain de crête de 45 dBi.
- Le détecteur SETS pointe dans la direction du nadir.
- La taille de pixel pour un détecteur à une altitude de 850 km est de 201 km² (16 km de diamètre).

2 Service fixe

2.1 Bande attribuée

Voir le Tableau 86.

2.2 Application

Conformément au numéro 5.547 du RR, la bande 31,8-33,4 GHz est disponible pour les applications haute densité du service fixe.

Cette bande peut être utilisée à la fois pour des systèmes du service fixe point à point et pour des systèmes du service fixe P-MP.

2.3 Niveaux fondés sur des documents existants de l'UIT

Les Recommandations suivantes de l'UIT-R donnent des informations sur les rayonnements non désirés des systèmes du service fixe:

- Recommandation UIT-R F.1191 – Largeurs de bande et rayonnements non désirés des systèmes numériques du service fixe.
- Recommandation UIT-R SM.329 – Rayonnements non désirés dans le domaine des rayonnements non essentiels.
- Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les caractéristiques suivantes (Tableaux 87 et 88) ont été prises en compte pour les systèmes point à point et P-MP fonctionnant dans la bande 31,8-33,4 GHz.

TABLEAU 87

**Caractéristiques des systèmes point à point
(Recommandation UIT-R F.758)**

Espacement entre canaux (MHz)	56	3,5
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	46	46
Affaiblissement d'alimentation/multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Type d'antenne	Parabolique	Parabolique
Puissance de sortie d'émission maximum (dBW)	-3	-3
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	43	43

TABLEAU 88

**Caractéristiques des systèmes P-MP
(Recommandation UIT-R F.758)**

Type de station	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	28	28
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	14	Parabolique 41 Planaire 28
Affaiblissement d'alimentation/multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Azimut/élévation (degrés) d'ouverture de faisceau d'antenne (à 3 dB)	> 15	1,2 × 1,2
Puissance de sortie d'émetteur maximum (dBW)	-5	-10
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	9	31/18

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

La Recommandation UIT-R F.1520 donne la disposition des canaux pour les systèmes utilisant des espacements de canaux de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz et 56 MHz à développer dans la bande 31,8-33,4 GHz.

2.5.1 Caractéristiques de fonctionnement point à point

On propose d'utiliser dans un premier temps une densité d'un terminal par km²*

2.5.2 Caractéristiques de fonctionnement P-MP

On propose d'utiliser dans un premier temps une densité de terminaux de 0,3 terminal par km²*

- *Réutilisation des fréquences*: une réutilisation des fréquences de 2 est habituellement utilisée et est considérée comme un scénario typique. Un facteur de réutilisation des fréquences de 1 est à considérer comme une situation de cas le plus défavorable, ce qui arrive rarement.
- *Antenne sectorielle*: la largeur type d'antenne sectorielle est 90°. Dans certains cas, des antennes sectorielles de 45° sont prévues lorsque de grandes quantités de capacités de trafic doivent être transportées à partir du site d'une station.

* Il faut noter que ces chiffres représentent une approche de cas le plus défavorable et seront affinés pour obtenir un nombre réaliste de systèmes du service fixe dans chacune des bandes considérées.

Sur la base de ces considérations, un concentrateur de cellule de diffusion peut typiquement desservir deux abonnés sur le même canal au sein d'une cellule donnée.

2.6 Puissance émise dans la bande

Voir le Tableau 87 et le Tableau 88.

3 Seuil de compatibilité

Le critère de protection du détecteur passif est de -163 dBW dans une largeur de bande de 100 MHz (à ne pas dépasser pendant plus de 0,01% du temps comme stipulé par la Recommandation UIT-R SA.1029). Le § 2.4 donne un ensemble de caractéristiques des systèmes de service fixe à déployer dans cette bande. Sur la base de ces informations, il est possible de calculer la puissance admise en provenance de chaque système du service fixe qui tombe dans la bande SETS.

Le brouillage peut être reçu simultanément de plusieurs sources provenant de plusieurs services. Les valeurs dont la liste figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) sont le niveau de brouillage maximum admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif.

Des travaux complémentaires sont nécessaires pour traiter de l'impact de ces services actifs multiples fonctionnant au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

La première étape de cette approche est de calculer la puissance acceptable résultant du déploiement de systèmes du service fixe qui peuvent tomber dans un pixel du SETS:

La puissance agrégée à la Terre dans 100 MHz = critères de protection SETS (dB(W/100 MHz)) – gain SETS + affaiblissement en espace libre.

Il est alors possible de calculer le niveau des rayonnements non désirés par système du service fixe tombant dans la largeur de bande de référence SETS de 100 MHz:

Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz)) = puissance agrégée à la Terre dans 100 MHz – nombre d'émetteurs (en pixels SETS) – gain service fixe dans la direction SETS

4.2 Calcul

Pour les systèmes point à point (voir le Tableau 89), la Recommandation UIT-R F.1245 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de terminaux fonctionnant à la même fréquence est supposée être de un terminal par km².

Pour les stations terminales P-MP (voir le Tableau 90), la Recommandation UIT-R F.1245 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. Pour les stations centrales P-MP, la Recommandation UIT-R F.1336 a été utilisée pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de sites de stations centrales fonctionnant à la même fréquence est supposé être de 0,3 terminal par km². Sur le même site, deux stations centrales peuvent utiliser la même fréquence en supposant une antenne sectorielle de 90°. Donc au sein de la même cellule, deux stations terminales peuvent utiliser la même fréquence.

TABLEAU 89

Niveau des rayonnements non désirés acceptables par système point à point du service fixe tombant dans la bande SETS

Fréquence (GHz)	31,8	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	181	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	-27	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	-47,0	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	56,0	3,5
Gain d'antenne service fixe	46	46
Gain service fixe dans la direction SETS	-12,6	-12,6
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	-34,4	-34,4
Densité de systèmes par km ²	1,0	1,0
Taille de pixel par km ²	201	201
Nombre d'émetteurs	201	201
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	-57,4	-57,4
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	-37,4	-37,4

TABLEAU 90

Niveau de rayonnement non désiré acceptable pour un système du service fixe P-MP tombant dans la bande SETS

Fréquence (GHz)	31,8	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	181	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	-27	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	-47,0	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	28	28
Gain d'antenne service fixe	14	41
Gain service fixe dans la direction SETS	-11,5	-11,3
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	-35,4	-35,7
Densité de systèmes par km ²	0,6	0,6
Taille de pixel par km ²	201	201
Nombre d'émetteurs	121	121
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	-56,2	-56,5
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	-36,2	-36,5

4.3 Valeur obtenue

4.3.1 Niveau des rayonnements non désirés fondé sur des Recommandations UIT-R

En première approche, seuls les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels sont pris en compte (si la bande de garde est plus grande que le domaine des émissions hors bande). Alors, les niveaux d'affaiblissement fournis dans l'Appendice 3 du RR et la Recommandation UIT-R SM.329 sont utilisés pour calculer les niveaux de rayonnements non désirés provenant du service fixe qui tombent au sein du domaine des rayonnements non essentiels (décalage supérieur à 250% de la largeur de bande nécessaire ou de la séparation de canal par rapport à la fréquence centrale du signal de service fixe). Dans le cas de systèmes du service fixe, l'affaiblissement spécifié à l'Appendice 3 du RR devrait être, en dBc, le minimum de 70 dBc ou $(43 + 10 \log(P))$.

Sur la base de l'approche de première étape, pour un système fonctionnant avec une puissance de sortie de 0 dBW et un espacement entre canaux de 56 MHz (voir le Tableau 86), la limite des rayonnements non essentiels pour ce système est:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB dans une largeur de bande de référence de 1 MHz.}$$

Le Tableau 91 donne le niveau de rayonnements non essentiels qui peuvent tomber dans une largeur de bande de référence de 100 MHz.

TABLEAU 91

Calcul du niveau des rayonnements non essentiels qui peuvent tomber dans une largeur de bande de 100 MHz

Système du service fixe	Niveau des rayonnements non essentiels par MHz (dBW)	Niveau des rayonnements non essentiels par 100 MHz (dBW)
Point à point 56 MHz (Tableau 87)	-43	-23
Point à point 3,5 MHz (Tableau 87)	-43	-23
P-MP 28 MHz (station centrale, Tableau 88)	-43	-23
P-MP 28 MHz (station terminale, Tableau 88)	-43	-23

Cette approche de première étape conduit à la conclusion que même si on ne considère que les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels, les critères de protection SETS ne sont pas satisfaits.

4.3.2 Précision des calculs

Les systèmes de service fixe déployés dans cette bande peuvent se conformer aux limites données dans la Norme ETSI EN 300 197 et à la Catégorie B donnée dans la Recommandation UIT-R SM.329 comme ceux qui seront déployés dans la bande 31-31,3 GHz (voir l'Annexe 15 de la présente Recommandation).

Les puissances acceptables par terminal qui ont été calculées aux Tableaux 89 et 90 sont trop proches de celles qui ont été prises en compte à l'Annexe 15, qui traite de la compatibilité entre le SETS (passive) fonctionnant dans la bande 31,3-31,5 GHz et les systèmes de service fixe fonctionnant dans la bande 31,0-31,3 GHz. Cela signifie que les bandes de garde, qui ont été déduites à l'Annexe 15 de la présente Recommandation, sont suffisantes pour protéger le fonctionnement du SETS. La bande de garde correspondante est donnée au Tableau 92.

TABLEAU 92

Bande de garde en fonction de l'espacement entre canaux

Espacement entre canaux (MHz)	Z_2S (MHz)	Bande de garde (MHz)
3,5	28,75	27
7	27,5	24
14	22	15
28	41	27
56	80	52

5 Techniques de réduction des brouillages**5.1 SETS (passive)**

La Recommandation UIT-R F.1520 donne les dispositions des canaux pour les systèmes du service fixe à déployer dans cette bande (voir la Fig. 60).

Le Tableau 93 donne les bandes de garde recommandées dans cette disposition des canaux et la différence avec les bandes de garde qui ont été calculées dans l'Annexe 15, qui traite de la compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 31,3-31,5 GHz et les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 31-31,3 GHz.

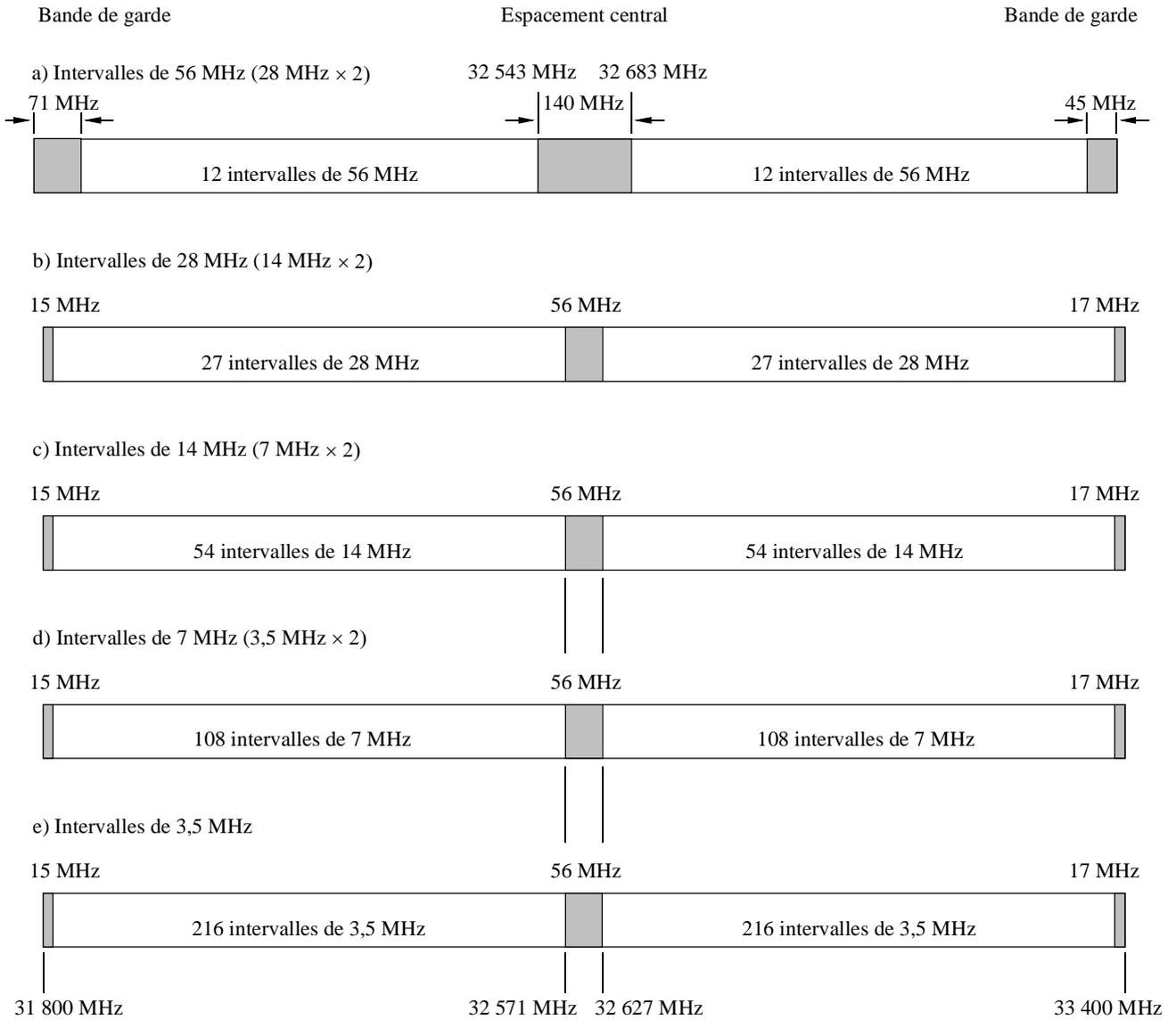
Alors, pour les systèmes qui utilisent des gabarits plus contraignants pour les émissions hors bande que ceux donnés dans la Recommandation UIT-R SM.1541 (et satisfont aux limites données dans la Recommandation UIT-R SM.329 sous la Catégorie B au sein du domaine des rayonnements non essentiels), si une bande de garde d'environ 12 MHz est établie au sein de la bande attribuée au SETS, la protection des systèmes SETS sera assurée.

5.2 Service fixe

Les calculs ci-dessus se fondent sur l'hypothèse que les systèmes du service fixe déployés dans la bande 31,8-33,4 GHz utilisent un gabarit plus contraignant pour les émissions hors bande que ceux donnés dans la Recommandation UIT-R SM.1541 et les limites pour les rayonnements non essentiels donnés dans la Recommandation UIT-R SM.329 (Catégorie B).

D'autres techniques de réduction des brouillages telles que le filtrage peuvent aussi être utilisées pour diminuer le niveau des rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe et tombant dans la bande du SETS.

FIGURE 60
Occupation du spectre: bande 31,8-33,4 GHz



1633-60

TABLEAU 93

Comparaison des bandes de garde

Espacement entre canaux (MHz)	Bande de garde calculée (MHz)	Bande de garde incluse dans le plan (MHz)	Différence (MHz)
3,5	27	15	12
7	24	15	9
14	15	15	0
28	27	15	12
56	52	71	-19

5.3 Impact des techniques de réduction des brouillages

5.3.1 SETS

Dans la mesure où:

- pour satisfaire aux exigences du système SETS en terme de vérification de la qualité des mesures effectuées dans la bande 31,3-31,5 GHz (plus de 200 MHz sont disponibles dans la bande 31,5-31,8 GHz);
- pour obtenir une précision meilleure que 0,2 K, sachant que plus de 416 MHz sont disponibles pour les mesures,

la mise en oeuvre d'une bande de garde de 12 MHz dans la partie supérieure de la bande SETS de 31,5-31,8 GHz peut ne pas avoir d'impact sur le fonctionnement des détecteurs SETS.

Si les systèmes du service fixe ne mettent pas en œuvre les techniques de réduction des brouillages décrites au § 5.2, la bande de garde requise sera alors plus grande et cela peut affecter le fonctionnement du détecteur SETS.

5.3.2 Service fixe

Si les systèmes du service fixe mettent en œuvre des limites plus contraignantes pour les rayonnements non désirés que celles données dans la Recommandation UIT-R SM.1541 au sein du domaine des émissions hors bande, ainsi que les limites de Catégorie B données dans la Recommandation UIT-R SM.329, il faut encore déterminer leur impact pour le service fixe dans les pays qui ne respectent pas de telles limites. Si le service fixe met en œuvre d'autres techniques, l'impact de ces techniques doit alors lui aussi être déterminé.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

L'analyse effectuée dans les paragraphes précédents montre que la bande de garde qui est habituellement incluse dans les dispositions de canaux donnés dans la Recommandation UIT-R F.1520 peut n'être pas suffisante pour réduire les niveaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe dans la bande 31,8-33,4 GHz jusqu'aux niveaux requis pour satisfaire aux critères de protection SETS.

Les concepteurs de systèmes SETS pourraient tenir compte de la possibilité d'inclure une bande de garde dans la partie supérieure de la bande SETS de 31,5-31,8 GHz lors de la conception des systèmes SETS, de sorte que la protection des mesures du SETS puisse être assurée. L'adéquation et l'applicabilité des techniques de réduction des brouillages dans cette étude détaillée doivent faire l'objet de travaux complémentaires.

6.2 Conclusion

En considérant les systèmes du service fixe qui se conforment à un gabarit plus contraignant pour les rayonnements non désirés que celui donné dans la Recommandation UIT-R SM.1541 et l'Appendice 3 du RR, et en tenant compte des dispositions de canaux pour les systèmes du service fixe dans cette bande (Recommandation UIT-R F.1520), la protection du SETS (passive) peut être assurée lorsque le système SETS (passive) inclura une bande de garde d'au moins 12 MHz à la bordure 31,8 GHz de la bande. Si les systèmes du service fixe ne pouvaient se conformer aux conditions ci-dessus, des bandes de gardes plus importantes seraient nécessaires à la bordure de la bande pour assurer la compatibilité.

Annexe 17

Compatibilité entre le SETS (passive) dans la bande 31,5-31,8 GHz et les systèmes de radionavigation fonctionnant dans la bande 31,8-33,4 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 31,8-33,4 GHz est attribuée au service de radionavigation et cette bande est adjacente à la bande 31,5-31,8 GHz attribuée au SETS (passive). La présente Annexe donne les calculs des niveaux de rayonnements non désirés provenant du système de radionavigation fonctionnant au-dessus de 31,8 GHz qui peuvent tomber dans la bande 31,5-31,8 GHz.

Les attributions adjacentes aux bandes passives 31,5-31,8 GHz sont indiquées au Tableau 94.

TABLEAU 94

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Service dans la bande attribuée supérieure
31,3-31,5 GHz	31,5-31,8 GHz	31,8-32 GHz
EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive)	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RADIOASTRONOMIE RECHERCHE SPATIALE (passive) Fixe (Régions 1 et 3) Mobile sauf mobile aéronautique (Régions 1 et 3)	FIXE RADIONAVIGATION RECHERCHE SPATIALE (espace lointain) (espace vers Terre)

1.2 Application

Cette bande est une des bandes utilisées pour le sondage atmosphérique proche du nadir avec des bandes telles que celles des 23,8 GHz et des 50,3 GHz pour la caractérisation de chaque couche de l'atmosphère terrestre.

Dans la bande des 31 GHz, il faut une largeur de bande de 416 MHz pour obtenir une précision à 0,2 K près. Cela signifie que la communauté des utilisateurs des systèmes passifs à hyperfréquences doit protéger à la fois la bande 31,3-31,5 GHz et la bande 31,5-31,8 GHz.

Cette bande sera aussi utilisée en conjonction avec la bande 31,3-31,5 GHz comme «fenêtre partagée». On peut faire une comparaison des mesures effectuées dans les deux sous-bandes pour vérifier la qualité des données. Cela permettra alors d'utiliser la totalité de la bande lorsqu'on s'attend à une bonne qualité, pour augmenter la sensibilité du détecteur.

1.3 Critères de protection requis

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

On a pris en compte les caractéristiques de fonctionnement suivantes pour le système SETS:

- Le détecteur SETS est supposé avoir une antenne avec un gain de crête de 45 dBi.
- Le détecteur SETS pointe dans la direction du nadir.
- La taille de pixel pour un détecteur à une altitude de 850 km est de 201 km² (16 km de diamètre).

2 Service de radionavigation

2.1 Bande attribuée

Voir le Tableau 94.

2.2 Application

Les systèmes de radionavigation identifiés comme fonctionnant dans la bande 31,8-33,4 GHz sont à bord des avions. Le système fonctionne dans le monde entier presque en continu pendant les vols. Cela recouvre une gamme d'altitudes depuis le niveau du sol jusqu'à environ 30 000 pieds (ou 9 000 m). Les temps de vol peuvent aller jusqu'à six heures, et typiquement la plus grande partie du temps est passé en route, mais on peut s'attendre à des temps plus longs aux points soit de départ soit de destination. Des informations provenant d'une administration indiquent que des systèmes de radionavigation dans cette bande de fréquences fonctionnent dans un nombre limité d'avions dans le monde entier.

Le terme de «radionavigation» tout au long de ce texte se réfère au système de radar aéroporté qui fonctionne dans la bande 31,8-33,4 GHz. Une administration a indiqué l'utilisation de cette bande dans le monde entier pour le service de radionavigation sous forme d'un nombre limité de systèmes radar aéroportés. Le système radar réel est utilisé pour la cartographie du sol, la détection des perturbations météorologiques et la navigation, mais pas principalement pour des fonctions telles que l'approche des aéroports et l'atterrissage. Le remplacement de certains des systèmes de fréquences fixes par le système de fréquence agile est envisagé à l'avenir.

2.3 Niveaux fondés sur des dispositions et Recommandations UIT-R

2.3.1 Numéro 1.153 du RR

Le RR définit la *largeur de bande occupée* comme suit:

«**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 supérieur de la largeur de bande occupée était à la limite supérieure ou au-dessous 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. Donc, la puissance totale de rayonnement non désiré aux fréquences de la bande SETS et au-dessus n'est pas supérieure à $P - 23$ dB.

2.3.2 Recommandation UIT-R SM.1541

L'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R SM.1541 spécifie un gabarit générique des émissions hors bande pour les radars primaires. Ceci est répété ci-dessous avec une fragmentation des relations. La variable relative F est le décalage de fréquence par rapport au centre de la bande en pourcentage de la largeur de bande à -40 dB du radar, comme illustré à la Fig. 61.

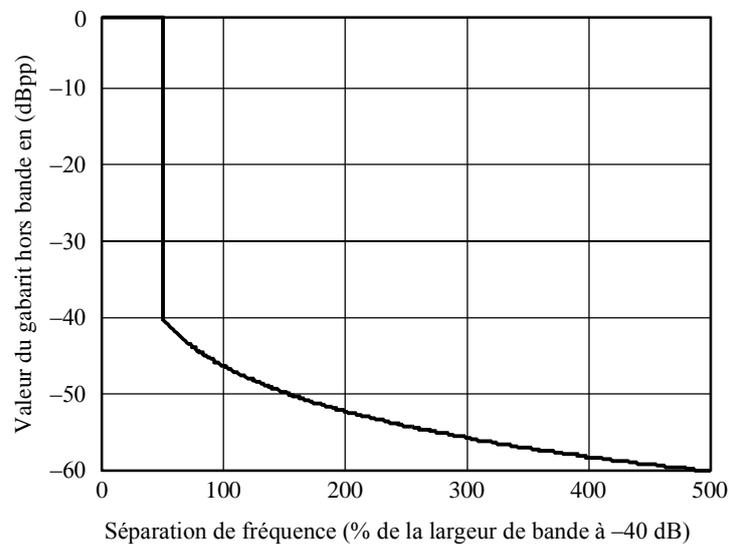
F : décalage de fréquence par rapport au centre de la bande en pourcentage de la largeur de bande à -40 dB du radar;

dBpp: décibels par rapport à la valeur maximale de la puissance de crête, mesurée avec la largeur de bande de référence au sein de la largeur de bande occupée.

Elle donne l'affaiblissement minimal pour la puissance d'émission hors bande, au sein d'une largeur de bande de référence, par rapport à la puissance de crête dans la bande.

FIGURE 61

Gabarit hors bande pour radars primaires



1633-61

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Deux systèmes de radar sont mis en oeuvre: un système utilisant des fréquences fixes (dont 80% de stations d'aéronefs) et un système (dont 20% de stations d'aéronefs) avec l'option d'utilisation de l'agilité de fréquence (neuf canaux dans la bande 32,2-33 GHz). Les techniques caractéristiques des systèmes fonctionnant dans le service de radionavigation se trouvent dans la Recommandation UIT-R F.1571 et sont données au Tableau 95.

TABLEAU 95

**Largeur de bande des émissions des systèmes dans le service de radionavigation
fonctionnant dans la bande 31,8-33,4 GHz**

Paramètre	Système 1	Système 2
Type d'accord	Fréquence fixe; tonalités continues sur 31,8-33,4 GHz	Fréquence fixe ou saut de fréquence; fonctionne dans l'un ou l'autre mode sur un des neuf canaux discrets espacés de 100 MHz l'un de l'autre (32,2-33 GHz)
Type d'émission	Impulsions non modulées	Impulsions non modulées
Largeur de bande d'émission RF (MHz)	37	17 (instantané) 117 (saut)
Largeur d'impulsion (μ s)	0,2	0,2
Fréquence de répétition d'impulsion (pps)	2 000	1 600
Puissance d'émission de crête (kW)	60	39
Type d'antenne	Réflecteur parabolique	Réflecteur parabolique
Gain de faisceau d'antenne principale (dBi)	44	41,1
Balayage d'antenne	Elévation: -30° à $+10^\circ$, manuel Azimut: 360° à 7, 12 ou 21 tr/min	Elévation: -30° à $+10^\circ$, manuel Azimut: 360° à 12 ou 45 tr/min

On peut conclure du Tableau 95 que le concept de technique de compression d'impulsion utilisant des impulsions codées (avec une fonction de détection d'erreur) n'est pas mis en œuvre dans les systèmes de radar considérés.

On doit noter que la rotation d'antenne est mécanique, c'est-à-dire que le faisceau d'antenne n'est pas commandé de façon électronique.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Jusqu'à 18 aéronefs fonctionnant avec ces systèmes de radionavigation peuvent être actifs dans de petites zones géographiques (c'est-à-dire, séparées de moins d'un kilomètre l'une de l'autre), bien que le plus souvent, seuls un à trois aéronefs fonctionneront simultanément.

2.6 Puissance émise dans la bande

Voir le Tableau 95.

3 Seuil de compatibilité

Le critère de protection du détecteur passif est de -163 dBW dans une largeur de bande de 100 MHz (à ne pas dépasser de plus de 0,01% du temps comme stipulé par la Recommandation UIT-R SA.1029). Le § 2.4 donne un ensemble de caractéristiques des systèmes de radionavigation à déployer dans cette bande. Sur la base de ces informations, il est possible de calculer la puissance admise provenant de chaque système de radionavigation tombant dans la bande SETS.

Le brouillage peut être reçu simultanément de plusieurs sources provenant de services multiples. La valeur indiquée dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau maximum de brouillage admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif.

Des travaux complémentaires seront nécessaires pour traiter de l'impact de ces services actifs multiples fonctionnant au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

La première étape est l'analyse de l'affaiblissement requis pour satisfaire aux critères de protection du SETS (passive). La seconde étape est de calculer l'affaiblissement lorsque la bande SETS (passive) tombe juste en dehors de la largeur de bande à -40 dB du radar.

4.2 Calcul du niveau de brouillage

4.2.1 Affaiblissement requis dans la bande passive

L'affaiblissement requis pour les quatre systèmes de radiolocalisation est donné au Tableau 96, pour lesquels le lobe principal de l'antenne de l'instrument du SETS (passive) «voit» le lobe latéral de l'antenne du système de radionavigation.

TABLEAU 96
Analyse de compatibilité avec le radar

	Système 1	Système 2
Fréquence (GHz)	31,8	31,8
Puissance de radionavigation (dBW)	47,8	45,9
Gain d'antenne de radionavigation	-10	-10
Altitude (km)	850	850
Affaiblissement d'espace libre	181	181
Gain SETS	45	45
Puissance dans une largeur de bande de référence de 100 MHz	-98,2	-100
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-163	-163
Affaiblissement requis	-64,8	-63

4.2.2 Calcul des rayonnements non désirés provenant des Systèmes radar 1 et 2

L'hypothèse utilisée dans cette analyse est que la largeur de bande à -40 dB du radar est située dans la bande de radionavigation et que la bande SETS est située à partir de la valeur à 50% de la largeur de bande à -40 dB comme décrit à la Fig. 61.

Pour les Systèmes 1 et 2, on a calculé les niveaux d'affaiblissement en utilisant le gabarit et les équations de l'Annexe 8 de la Recommandation UIT-R SM.1541. Pour les calculs aussi bien de la largeur de bande nécessaire que de la largeur de bande à -40 dB, on a besoin du temps de montée de l'impulsion. Ce paramètre a été estimé à 50 ns pour les deux Systèmes 1 et 2. Pour les Systèmes 1 et 2, le résultat est une B_N de 17,9 MHz et une B_{-40} de 76 MHz. Il faut noter ici que, en considérant les caractéristiques du Système 2 telles qu'elles figurent au Tableau 95, le canal radar le plus proche est situé à environ 32,2 GHz, ce qui nous donne une importante bande de garde (déjà mise en oeuvre). Pour le Système 1, la largeur de bande de référence de 100 MHz (31,7-31,8 GHz) du SETS (passive) va de 50% à 181,6% à la Fig. 61. La puissance de rayonnements non désirés tombant dans la largeur de bande de référence de 100 MHz est de $-45,7$ dBpp pour le Système 1.

4.3 Valeurs obtenues

Les marges qui en résultent, en supposant un gain d'antenne radar de -10 dBi (dans la direction du détecteur), sont de 19,1 dB pour le Système 1. Il est très vraisemblable que le Système 2, du fait de son importante séparation de fréquence, sera compatible avec les systèmes SETS (passive) fonctionnant dans la bande adjacente.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

D'après la description du § 1.2, il paraît possible de mettre en oeuvre à la bande 31,5-31,8 GHz une bande de garde à la fin de l'attribution du service passif à la bordure de la bande des 31,8 GHz.

5.2 Service de radionavigation

Les techniques d'affaiblissement pour les systèmes qui sont actuellement utilisés peuvent servir d'un point de vue pratique. La plupart des radars utilisés dans la gamme 31,8-33,4 GHz sont agiles en fréquence et ont des largeurs de bande d'émission RF relativement petites comparées à la bande attribuée. Il faut examiner la possibilité d'éviter les émissions dans la partie inférieure du spectre adjacente à la bordure de la bande passive existante à 31,8 GHz car elle pourrait résoudre la discordance. Par exemple, il est vraisemblable que l'analyse de compatibilité donnerait un scénario positif lorsque le canal radar le plus proche par rapport à la bordure existante de la bande passive a une séparation de fréquence d'approximativement 2 à 2,5 fois la largeur de bande à -40 dB du système de radionavigation.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

En mettant en oeuvre une bande de garde appropriée pour prévenir les risques de brouillage provenant de brouilleurs de bande adjacente, le SETS (passive) peut avoir un meilleur environnement pour effectuer ses mesures. L'applicabilité et l'adéquation d'une telle bande de garde devra faire l'objet de travaux complémentaires.

5.3.2 Service de radionavigation

Des travaux complémentaires seront nécessaires pour étudier la faisabilité de conserver la totalité de la largeur de bande radar à -40 dB au sein de la bande de radionavigation en combinaison avec une séparation de fréquence supplémentaire ou d'une limite de puissance de crête inférieure (c'est-à-dire, qu'à l'avenir les radars dans la bande 31,8-33,4 GHz pourraient avoir des paramètres différents).

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La présente analyse de compatibilité a calculé les risques de brouillage provenant des systèmes de radionavigation dans la bande adjacente supérieure à la bande 31,5-31,8 GHz attribuée au SETS (passive).

6.2 Conclusions

Il résulte de la présente analyse de compatibilité qu'il existe une discordance de 19,1 dB pour un système unique du Système 1 (Tableau 95), en supposant un gain d'antenne de -10 dBi dans la direction du détecteur. On a identifié des techniques de réduction des brouillages pour les deux services et il faudra des études complémentaires pour évaluer leur applicabilité et leur adéquation. Un scénario positif résulterait de l'application d'une bande de garde dans la bande de la radionavigation ou du SETS (passive). En tenant compte de l'utilisation de ce système par les aéronefs, le brouillage pourrait aussi être au-dessous du critère de disponibilité du détecteur passif.

Au Tableau 95, les systèmes de radionavigation du Système 2 seront, du fait de son importante séparation de fréquence (environ 400 MHz) par rapport à la bordure de bande, compatibles avec la bande passive de 31,5-31,8 GHz.

Annexe 18

Analyse de compatibilité entre systèmes du SRA fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz et systèmes du SFS et du SRS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 41,5-42,5 GHz

1 SRA

1.1 Bande attribuée

Le SRA partage la bande 42,5-43,5 GHz avec le service fixe, le SFS (Terre vers espace) et le service mobile (sauf mobile aéronautique) à titre primaire.

1.2 Type d'observations

La bande 42,5-43,5 GHz est utilisée par le SRA à la fois pour des observations du continuum et des observations de raies spectrales. La bande est très importante pour la radioastronomie, parce qu'elle est approximativement de deux fois la fréquence de la bande du continuum 23,6-24 GHz, elle procure un point d'échantillonnage efficace des émissions du continuum à des intervalles d'octave, essentiel pour la détermination de l'indice spectral des radiosources. Les observations des émissions

du continuum donnent des informations critiques sur l'état physique de la matière interstellaire associée aux régions de formation des étoiles. La bande des 43 GHz est aussi utilisée de façon intense pour les études de l'arrière-plan cosmique hyperfréquence (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 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.

1.3 Critères de protection requis

La Recommandation UIT-R RA.769 spécifie les critères de protection pour les observations radioastronomiques et donne les niveaux des seuils de brouillage nuisible pour les bandes attribuées à titre primaire à la radioastronomie. Dans la bande 42,5-43,5 GHz, pour les observations de raies spectrales à antenne unique faites en utilisant une largeur de bande de canal (un des canaux du spectromètre) de 500 kHz, le seuil de puissance surfacique pour les brouillages gênants est de $-153 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$. Pour faire des observations à antenne unique du continuum en utilisant la totalité de la largeur de bande à 1 GHz, la limite du seuil de puissance surfacique est de $-137 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$.

Les observations VLBI, où les signaux provenant d'antennes largement séparées sont enregistrés et corrélés après les observations, sont beaucoup moins vulnérables au brouillage. Ceci est reflété dans le niveau de seuil de puissance surfacique pour les observations VLBI dans cette bande, $-116 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$, pour une largeur de bande de 500 kHz.

Pour les 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 de seuil de brouillage nuisible pour le SRA comme 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 même être détruites. En principe, dans des circonstances assez idéales, si ces niveaux ne sont que très légèrement dépassés, il est possible à l'observatoire de radioastronomie de les compenser en augmentant le temps d'observation. En faisant ainsi, la capacité de canal du télescope est réduite, avec une réduction correspondante du débit de données scientifiques. Si le niveau de brouillage, dans les hypothèses de la Recommandation UIT-R RA.769 (par exemple, les performances d'antenne, etc.), passent à 10 dB ou plus au-dessus de la définition de la Recommandation UIT-R RA.769, l'augmentation du temps d'observation ne permettra plus d'assurer que des données scientifiques valides sont fournies aux savants. La station de radioastronomie ne pourra plus fonctionner dans la bande de fréquences assignée, et sa capacité de service aura été perdue si aucune technique de réduction des brouillages appropriée ne peut être appliquée.

Les Recommandations UIT-R suivantes traitent directement de la protection des stations de radioastronomie observant 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.

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 97 donne une liste des observatoires radioastronomiques qui fonctionnent ou dont le fonctionnement est prévu dans la bande 42,5-43,5 GHz. Les installations prévues sont celles qui sont en construction au Mexique (le grand télescope millimétrique, projet conjoint USA-Mexique), au Chili (le grand réseau millimétrique d'Atacama) et en Italie (Télescope de Sardaigne) ou la mise en oeuvre de cette bande de fréquences au réseau d'interférométrie MERLIN au Royaume-Uni.

L'intérêt scientifique pour la bande des 43 GHz est très élevé. Le plus intéressant vient des 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 μ K, impliquant des intégrations de l'ordre de 2000-4000 s. De longs temps d'intégration sont essentiels pour observer les sources à peine visibles qui intéressent les scientifiques. Des modes de corrélation et de différenciation d'observation ont été développés et sont utilisés avec succès pour compter les fluctuations atmosphériques pour 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, qui est peut-être le plus utilisé des radiotélescopes du monde, a passé près de 20% de son temps total d'observation dans cette bande pendant ces dernières années. Des statistiques similaires sont valables pour le très grand réseau de référence (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 du 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 ont désormais une flexibilité en fréquence qui leur permet de passer d'un fonctionnement dans une bande de fréquences à une autre en quelques minutes ou moins. Cela permet une planification souple, pour tirer parti des meilleures conditions d'observation (météorologie, etc.). Du point de vue des études de compatibilité inter-services, il est donc plus sûr de supposer que toute station de radioastronomie dans les Tableaux puisse observer à tout moment à 43 GHz.

TABLEAU 97

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	-00° 31' 37"	44° 50' 10"	73	2,5	S
	Plateau de Bure	05° 54' 26"	44° 38' 01"	2 552	6 × 15	S
Allemagne	Effelsberg	06° 53' 00"	50° 31' 32"	369	100	S
Italie	Medicina	11° 38' 43"	44° 31' 14"	44	32	S
	Noto	15° 03' 00"	36° 31' 48"	85 570	32	S
	Cagliari	09° 14' 40"	39° 29' 50"		64	S
Fédération de Russie	Dmitrov	37° 27' 00"	56° 26' 00"	200	32	S
Espagne	Pico Veleta	-03° 23' 34"	37° 03' 58"	2 870	30	S
	Yebes	-03° 06' 00"	40° 31' 30"	931	40	S
Suède	Onsala	11° 55' 35"	57° 23' 45"	10	20	S
Royaume-Uni (prévu)	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
Région 2						
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	

TABLEAU 97 (*fin*)

Région 3						
Pays	Site	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Diamètre (m)	Remarques
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
			124° 10' 06"	24° 24' 38"	60	20
Corée (République de)	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
Autres						
Financement Etats-Unis d'Amérique	Antarctique	N/A	−90° 00' 00"	3 000	Divers	S

NOTE 1 – S se rapporte à des stations où sont faites des opérations à antenne unique et VLBI se rapporte à des stations utilisées exclusivement pour de la VLBI.

2 SFS et SRS

2.1 Bande d'émission attribuée

La bande de service active considérée est la bande 41,5-42,5 GHz.

2.2 Application

Sur la base des notifications à l'UIT, plus de 250 systèmes du SFS et du SRS sont prévus pour un fonctionnement dans la bande des 40 GHz et la bande de liaison montante correspondante à 47 GHz. Les paramètres typiques des systèmes du SFS dont le fonctionnement est prévu dans les bandes des 50/40 GHz sont indiqués dans le Tableau 98.

2.3 Niveaux fondés sur des documents existants de l'UIT

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 adjacentes attribuées.

Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

La plupart des systèmes du SFS dont le fonctionnement est proposé dans les bandes des 50/40 GHz prévoient de fournir de hauts débits de données allant de la visioconférence de qualité au moyen de très hauts débits de transmission de STM-1 (155 Mbit/s) au $10 \times$ STM-4 (6,22 Gbit/s). Dans la mesure où les dégradations dues à la propagation sont très sévères dans cette gamme, 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 de forts débits de données 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 de 0,3 à 0,65°. Aussi, à cause du poids du satellite et des contraintes de puissance, le nombre de faisceaux actifs à tout instant dans le champ de vision du satellite de tous les systèmes du SFS proposés, dont le fonctionnement est prévu dans ces bandes, sera très faible, typiquement moins de 5%. Dans les études concernées (Recommandation UIT-R S.1557), les systèmes du SFS et du SRS dont le fonctionnement est prévu dans la bande des 40 GHz sont supposés avoir des paramètres de système similaires.

Le Tableau 98 indique que la plupart des systèmes 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 la séparation entre les faisceaux.

TABLEAU 98

Caractéristiques typiques des systèmes de liaison descendante des systèmes du SFS OSG et non OSG dont le fonctionnement est prévu dans la bande 37,5-42,5 GHz (Recommandation UIT-R S.1557)

Paramètres	SFS OSG	SFS non OSG (MEO)
Taille du faisceau de l'antenne satellite (degrés)	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 dans 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/concentrateur	

TABLEAU 98 (*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/concentrateur – HDSFS (VSAT)	– > 99,9% – 99,5% à 99,7%	
Charge utile	Répéteur transparent ou traitement de charge utile	
Angle d'élévation de fonctionnement minimum (degrés)	> 15	> 20
Modulation	MDP-4/MDP-8/MAQ-16	
TEB	1×10^{-8} à 1×10^{-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 du terminal terrestre: – Passerelle/concentrateur (m) – HDSFS (VSAT) (m)	– 1,8 à 2,7 – 0,3 à 0,6	– 1,5 à 2,7 – 0,3 à 0,6
Température du bruit du système du terminal terrestre (K)	600 à 800	

HDSFS: service fixe par satellite à haute densité

VSAT: microstation terrienne.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

Voir la Recommandation UIT-R S.1557 et le § 2.4.

2.6 Niveau d'émission dans la bande

Les systèmes du SFS et du SRS dont le fonctionnement est prévu dans la bande des 40 GHz ne pourront émettre aux limites de puissance surfacique données au Tableau 21-4 du RR que pendant un très petit pourcentage du temps. Les niveaux réels de puissance surfacique de la liaison descendante pendant des conditions d'air clair dépendront de la conception de chaque système à satellites et d'éléments comme la transparence du répéteur, le traitement de la charge utile 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 dB(W/m²) pour des angles d'élévation allant de 25° à 90° dans des conditions d'air clair.

La valeur de -117 dB(W/(m² · MHz)) représente un niveau d'air clair qui est de 12 dB au-dessous du niveau de puissance surfacique de crête spécifié au Tableau 21-4 du RR. Du fait 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 surmontés. De plus,

le niveau d'air clair fournit une protection à certains systèmes du service fixe sensibles déployés dans la bande. On trouvera des détails complémentaires dans les Recommandations UIT-R S.1557 et UIT-R SF.1572.

3 Seuil de compatibilité

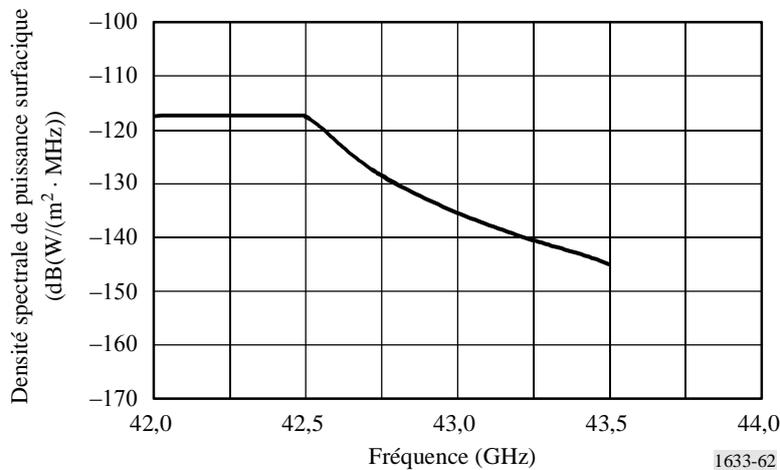
Voir le § 1.3.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

L'exemple présenté à la Fig. 62 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. Cet exemple part lui aussi de l'hypothèse que la largeur de bande nécessaire s'étend jusqu'aux bords de l'attribution du SFS.

FIGURE 62
Performance spectrale



4.2 Calcul du niveau de brouillage

La courbe de performance spectrale de la Fig. 62 a été intégrée numériquement afin d'en calculer la puissance cumulée des rayonnements non désirés et évaluer l'impact dans la bande d'observation du continuum de 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 du sous-satellite. Il en résulte que les valeurs réelles de puissance surfacique seraient inférieures pour les radiotélescopes dont l'angle d'élévation au satellite est inférieur à 90°.

Le calcul ne tient pas compte de l'impact de l'affaiblissement atmosphérique⁴.

⁴ Voir la Recommandation UIT-R P.676. La valeur variera de 1 à 2 dB au niveau de la mer.

4.3 Valeurs obtenues

Sur la base de cette courbe, les niveaux de cas le plus défavorable suivants sont obtenus dans la bande 42,5 à 43,5 GHz:

- $-97 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{GHz))}$, ce qui est à 37 dB au-dessus du seuil du continuum pour la bande 42,5-43,5 GHz.
- $-120 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 500 \text{ kHz))}$ à 42,5 GHz, ce qui est à 36 dB au-dessus du seuil de raies spectrales.

Il en résulte que la conformité aux critères de la radioastronomie nécessiterait l'application d'une ou plusieurs méthodes de réduction des brouillages.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SRA

Les méthodes de réduction des brouillages possibles pour le SRA sont soit:

- une bande de garde; soit
- d'autres méthodes de réduction des brouillages comme indiqué dans la Recommandation UIT-R SM.1542.

5.2 SFS et SRS

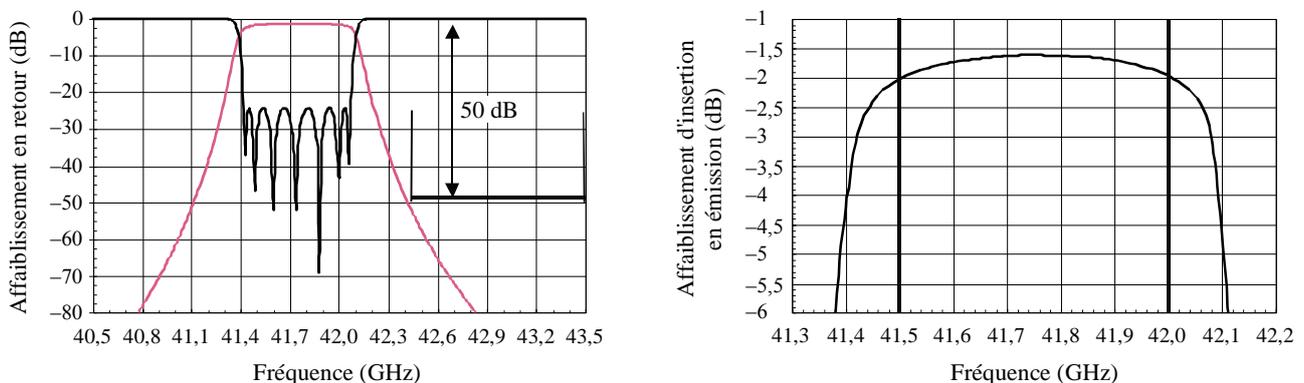
5.2.1 Filtrage au satellite

Cas 1: Station spatiale multifaisceaux

Pour les porteuses à large bande, la courbe de la Fig. 63 donne en exemple la performance d'un concept typique de filtre dans cette bande avec un filtre à 7 pôles.

FIGURE 63

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)

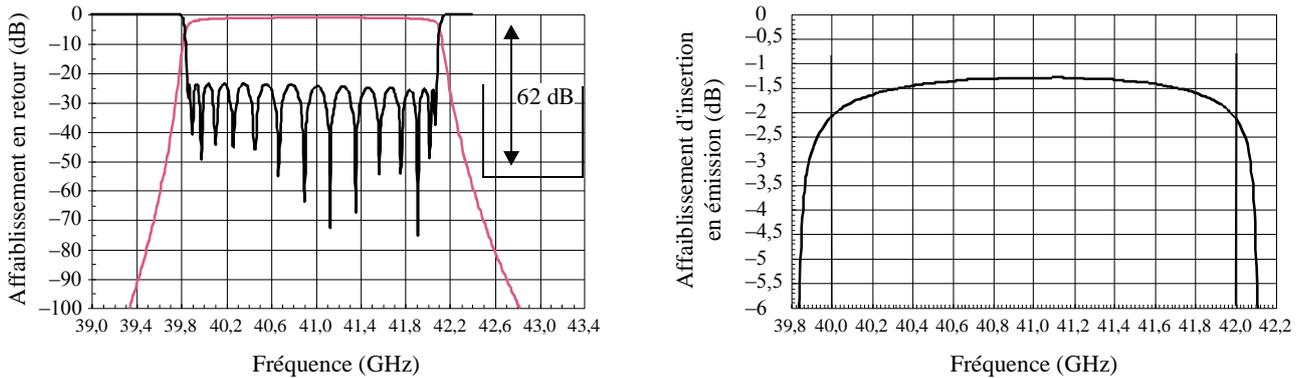
1633-63

Cas 2: Station spatiale en réseau à commande de phase

Pour les porteuses large bande sur un réseau à commande de phase, la Fig. 64 donne la performance d'un concept typique de filtre dans cette bande avec un filtre à 15 pôles.

FIGURE 64

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)

1633-64

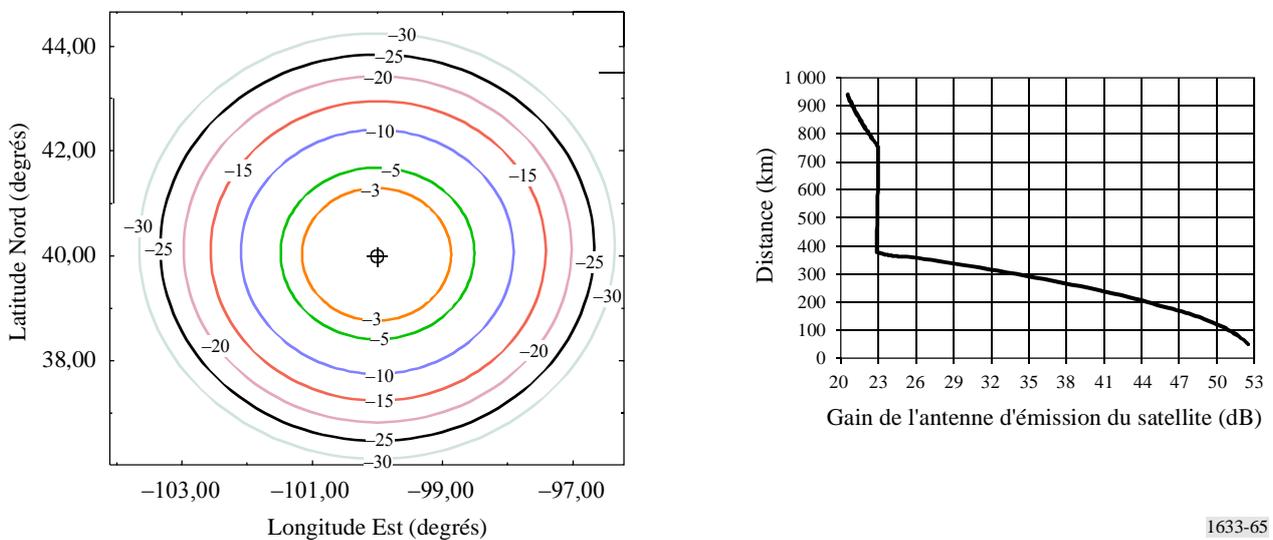
5.2.2 Isolement géographique

Si des systèmes du SFS et du SRS fonctionnant dans la bande 40,5-42,5 GHz ne réussissent pas à mettre en oeuvre les filtres d'émission supplémentaires nécessaires pour satisfaire aux critères de brouillages gênants des stations du SRA fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz, l'isolement géographique devrait être considéré comme une technique de réduction des brouillages du brouillage.

Sur la base du Tableau 99, la taille du faisceau d'antenne d'émission du satellite est dans une gamme de 0,3° à 0,6°. La partie de gauche de la Fig. 65 montre les contours de gain pour une antenne de station spatiale OSG qui aurait un gain de crête de 53 dBi et une ouverture de faisceau à 3 dB de 0,4°. L'avantage de l'isolement géographique par rapport au gain de crête peut être trouvé pour toute distance en utilisant la courbe de droite de la Fig. 65.

FIGURE 65

Contours de l'antenne satellite et distance entre le centre de faisceau et le bord de la couverture par rapport au gain d'antenne d'émission du satellite



1633-65

5.2.3 Forme spectrale 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 donc à limiter la quantité de rayonnements non désirés émise. De même, il serait possible de concevoir ou faire fonctionner l'amplificateur à haute puissance de telle sorte que soit minimisé le niveau de rayonnements non désirés provenant du signal SFS/SRS.

5.2.4 Bande de garde

Une bande de garde entre les deux services permettrait une diminution du signal et du filtre.

5.2.5 Méthodes de réduction des brouillages supplémentaires

Des méthodes de réduction des brouillages supplémentaires figurent dans la Recommandation UIT-R SM.1542.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SRA

Bande de garde à la bordure de la bande du SRA – Dans le cas de mesures large bande du continuum, l'utilisation d'une bande de garde au sein de la bande de la radioastronomie conduirait effectivement à une perte de données, dans la mesure où le temps d'intégration devrait être augmenté pour compenser la perte de largeur de bande. Cette méthode est limitée en pratique comme décrit au § 1.3.

La bande inclut aussi les raies spectrales associées à la molécule de SiO aux fréquences de repos de 42,519, 42,821, 43,122 et 43,424 GHz qui sont parmi les plus importantes raies de l'astrophysique, mais qui ne figurent pas dans la liste de la Recommandation UIT-R RA.314. Et donc, une bande de garde dans la bande de la radioastronomie aurait une portée limitée pour qu'elle n'ait pas d'impact sur la capacité d'observer une ou plusieurs raies spectrales du SiO.

5.3.2 SFS et SRS

5.3.2.1 Filtrage au satellite

Dans l'exemple multifaisceaux ci-dessus, sur la base d'un filtre d'émission à 7 pôles, l'affaiblissement d'insertion est de 2,0 dB, ce qui correspond à 37% de dégradation de la capacité du système. Un tel filtrage augmenterait le poids de la station spatiale de 120 gr ou plus par faisceau, selon la puissance d'émission.

Dans l'exemple du réseau à commande de phase, sur la base d'un filtre d'émission à 15 pôles, l'affaiblissement d'insertion est de 2,0 dB, ce qui correspond à 37% de dégradation de la capacité du système. Un tel filtrage augmenterait la masse de la station spatiale de 160 gr ou plus par élément, selon la puissance d'émission. Pour une station spatiale avec une antenne à réseau à commande de phase de 2 818 éléments, un poids supplémentaire de 450 kg serait ajouté à la masse de la charge utile, avec ses conséquences pénalisantes en matière de coût et de performance.

De plus, la plupart des systèmes fonctionnant avec des antennes à réseau à commande de phase préfèrent utiliser des amplificateurs de puissance à semi-conducteur. Si des filtres d'émission supplémentaires sont requis, et en fonction de la puissance réelle d'émission, du fait d'un affaiblissement supplémentaire, des amplificateurs ATOP peuvent être nécessaires. Il est difficile de mettre en œuvre des antennes à réseau à commande de phase avec des ATOP.

5.3.2.2 Isolement géographique

Cette méthode de réduction des brouillages n'est utilisable que si le nombre de radiotélescopes dans la zone de service du satellite est petite et que leurs localisations sont prises en compte lors de la conception du sous-système d'antennes de stations spatiales. Aussi cette méthode de réduction des brouillages limite la capacité des stations spatiales à être relocalisées ou à réorienter les faisceaux sur d'autres portions du champ de vision du satellite.

5.3.2.3 Forme spectrale du signal SFS/SRS

La linéarité de l'amplificateur haute puissance et le point de la gamme dynamique auquel fonctionne l'amplificateur haute puissance déterminent la forme spectrale des émissions de la station spatiale. On peut réaliser une amélioration des rayonnements non désirés à partir de l'amplificateur haute puissance grâce à un fonctionnement à 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 au prix de la réduction de l'efficacité du HPA. Les deux méthodes ont un impact sur le débit de la station spatiale tout comme sur son coût et son poids.

5.3.2.4 Bande de garde

L'usage de toute bande de garde impose une réduction de capacité au SFS/SRS si la bande de garde est mise en œuvre à l'intérieur de son attribution.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

La majorité des sites du SRA dans le monde utilise cette bande pour des mesures à antenne unique. Une combinaison des techniques de réduction des brouillages appropriées serait nécessaire pour satisfaire aux niveaux de protection pour les mesures à antenne unique.

Une étude a considéré la séparation de fréquence sans l'utilisation d'autre méthode de réduction des brouillages. Cette étude suppose que les systèmes du SFS et du SRS fonctionnent jusqu'à 42 GHz et que les niveaux de rayonnement non désirés soient ceux de la Recommandation UIT-R SM.1541. L'étude montre que le niveau de brouillage nuisible pour le VLBI donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 est satisfait. Cependant, les limites de seuil de puissance surfacique pour les observations de raies à antenne unique ou du continuum ne sont pas satisfaites, et le brouillage serait suffisamment sévère pour empêcher toute mesure astronomique utile à moins d'utiliser des méthodes de réduction des brouillages supplémentaires.

Le scénario de cas le plus défavorable présenté au § 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 taux identifié dans la Recommandation UIT-R SM.1541. De plus, cet exemple suppose que la largeur de bande nécessaire s'étende jusqu'aux bordures de l'attribution du SFS à 42,5 GHz.

Les rayonnements non désirés résultant de l'exemple de cas le plus défavorable considéré excèdent les limites du numéro 5.551G du RR aussi bien que les critères de raies spectrales à antenne unique et du continuum tirés de la Recommandation UIT-R RA.769. Cependant, le critère VLBI est satisfait sur la totalité de la bande 42,5 à 43,5 GHz. La déficience peut être traitée par l'utilisation de méthodes de réduction des brouillages. Une gamme variée de méthodes de réduction des brouillages peut être envisagée pour être appliquée dans des systèmes concrets; une combinaison de telles méthodes sera vraisemblablement nécessaire.

Si, pour certains systèmes, la représentation provisoire du spectre SFS telle que décrite dans l'Appendice technique de l'Annexe 1 est prise en compte plutôt que celle de la Recommandation UIT-R SM.1541, le déficit par rapport aux critères du continuum est réduit. Cela n'allège pas nécessairement le déficit sur les bordures de bandes, à moins que des méthodes de réduction des brouillages supplémentaires ne soient envisagées. Il était cependant indiqué que cette représentation spectrale se fondait sur l'expérience des bandes de fréquences inférieures.

On s'attend à ce que, en utilisant une ou plusieurs des méthodes de réduction des brouillages identifiées dans la présente Annexe, les systèmes du SFS/SRS soient capables de satisfaire au critère de protection de la Recommandation UIT-R RA.769 pour les mesures du continuum. De plus, il pourrait être difficile pour les systèmes du SFS de satisfaire au critère de raies spectrales dans certaines parties de la bande 42,5-43,5 GHz. On peut douter qu'il soit praticable d'exiger des systèmes du SFS qui satisfassent aux critères du numéro 5.551G du RR, dans la mesure où ces exigences imposeraient de sévères contraintes de fonctionnement et une augmentation significative des coûts du système à satellites.

Il en résulte qu'il est peu vraisemblable que tous les besoins des deux services puissent être satisfaits. Un travail complémentaire pourrait être nécessaire pour compléter l'étude.

6.2 Conclusions

Dans cette bande, le niveau du seuil des brouillages gênants pour les observations de radioastronomie tel qu'il est donné dans la Recommandation UIT-R RA.769 peut être satisfait par les SFS et SRS pour le cas du VLBI. Pour le cas du continuum, il paraît possible que les systèmes du SFS/SRS satisfassent au seuil avec l'utilisation de méthodes de réduction des brouillages. Il serait possible de satisfaire au seuil de raies spectrales sur une partie de la bande. Il n'est pas certain que des méthodes de réduction des brouillages soient suffisantes pour satisfaire aux critères de raies spectrales à la bordure inférieure de l'attribution de bande du SRA.

Comme près des deux tiers des sites du SRA dans le monde (voir le Tableau 97) utilisent cette bande pour des mesures à antenne unique, il est donc important qu'une combinaison de techniques de réduction des brouillages appropriées soit appliquée pour atteindre les niveaux de protection pour les mesures à antenne unique.

Annexe 19

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 50,2-50,4 GHz et les systèmes du SFS (Terre vers espace) fonctionnant dans la bande 47,2-50,2 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

Les attributions adjacentes aux bandes passives du SETS de 50,2-50,4 GHz sont indiquées dans le Tableau 99. Il faut noter que la bande 50,2-50,4 GHz est couverte par le numéro 5.340 du RR, et que le numéro 5.340.1 du RR s'applique aussi.

TABLEAU 99

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Service dans la bande attribuée supérieure
47,2-50,2 GHz	50,2-50,4 GHz	50,4-51,4 GHz
FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE 5.149 5.340 5.552 5.552A 5.555	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340 5.555A	FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE Mobile par satellite (Terre vers espace)

1.2 Application

Cette bande de fréquences est une des bandes qui, entre 50 GHz et 60 GHz, sont utilisées de façon collective pour fournir des profils tridimensionnels de la température de l'atmosphère.

Ces mesures nourrissent les modèles numériques de prévision météorologique. Le modèle réclame des données toutes les six heures et est utilisé pour des prévisions météorologiques à maillage fin (10 km ou moins) à court terme (6 à 48 h).

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Le premier critère est la puissance brouilleuse acceptable reçue par le détecteur SETS, qui est de -166 dBW dans la largeur de bande de référence de 100 MHz. C'est un niveau maximum de brouillage provenant de toutes sources.

Le second critère est la limite de fréquence d'occurrence de dépassement du seuil. Pour les sondeurs de nadir utilisés pour les mesures tridimensionnelles de la température atmosphérique ou de la concentration gazeuse, la proportion de cellules de mesure perdues à cause du brouillage ne doit pas dépasser 0,01%. Cette limite de fréquence d'occurrence est valable pour les sondeurs à balayage mécanique et pour les sondeurs de nadir en peigne.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Trois types de détecteur ont été étudiés pour faire des mesures dans cette gamme de fréquences. Le radiomètre à balayage à piste croisée qui peut balayer à travers le nadir, le radiomètre à balayage conique qui balaye en arc en face de la station spatiale à travers sa piste et le détecteur en peigne qui utilise des faisceaux fixes multiples à travers sa piste. Le détecteur en peigne sera analysé parce

qu'il représente l'avenir en sondage hyperfréquence. Il a l'avantage spécifique de permettre un temps d'intégration plus long. Le Tableau 100 donne les caractéristiques de fonctionnement du détecteur étudié.

TABLEAU 100
Paramètres du détecteur en peigne

Paramètre	Valeur
Altitude (km)	850
Orbite	Polarisation synchrone au soleil
Gain d'antenne du lobe principal (dBi)	45
Ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB (degrés)	1,1
Diagramme d'antenne	Recommandation UIT-R F.1245
Champ de vision (par rapport au détecteur)	$\pm 50^\circ$ dans la direction du nadir en croisant la piste
Champ de vision (par rapport au centre de la Terre)	$\pm 10,25^\circ$ géocentrique
Diamètre de pixel au nadir (km)	16
Pixels par largeur de couloir	90
Largeur de couloir (km)	2 300

2 SFS (Terre vers espace)

2.1 Bande d'émission

Voir le Tableau 99.

2.2 Application

Le service actif examiné dans la présente Annexe est le SFS (Terre vers espace) dans la bande 47,2-50,2 GHz.

2.3 Niveaux fondés sur la représentation spectrale

La présente Annexe utilise la représentation spectrale «à cosinus surélevé» qui est décrite à l'Annexe 1 de la présente Recommandation.

Cette représentation spectrale est destinée aux études bande par bande et est provisoire, en attendant une révision ultérieure par l'UIT-R. Elle représente d'une façon très générale la distribution de puissance typique dans les domaines des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels sur une attribution adjacente ou voisine.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les caractéristiques du SFS et du SMS sont tirées de la Recommandation UIT-R S.1328-3 – Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et système à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS), y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS), et figurent dans les Tableaux 101 et 102.

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

TABLEAU 101

Caractéristiques des liaisons montantes des stations terriennes non-OSG

Système	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2
Orbite	Circulaire	Circulaire	Circulaire
Altitude (km)	10 352	1 350	10 355
Inclinaison (degrés)	50	47	50
Satellites dans le plan	8	6	5
Plans	4	12	3
Polarisation	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite
Modulation	MDP-4-O	MDP-4	MDP-4-O
Largeur de bande (MHz)	500	90	300
Attribution passive (% de B_N)	40	222	67
p.i.r.e. (dBW)	88	60,2	69,7
Gain d'antenne (dBi)	66,08	54,4	57,8
Puissance d'émission (dBW)	21,92	5,8	11,9

TABLEAU 102

Caractéristiques des liaisons montantes des stations terriennes OSG

Système	GSO-VX	GEO-SV	GEOSAT		GSOV-B1	GSOV-B2
			Passerelle	Usager		
Polarisation	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite	Circulaire gauche/droite	Linéaire	
Modulation	MDP-4-D	MDP-4-D	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4
Largeur de bande (MHz)	300	200	125	11	105,6	150
Attribution passive (% de B_N)						
p.i.r.e. (dBW)	73,8	75,5	83,9	69,2	31,5	84,7
Gain d'antenne (dBi)	59,5	59,5	64,8	59,3	45,2	65,4
Puissance de l'émetteur (dBW)	14,3	16	19,1	9,8	-13,7	19,3

3 Seuil de compatibilité

Il y a deux critères pour cette bande. Il y a d'abord un seuil de puissance de -166 dBW sur 100 MHz. C'est un niveau de brouillage maximum de la part de toutes les sources. Il y a ensuite le critère de disponibilité de 99,99% de toutes les cellules de mesure ou une perte de 0,01% des pixels de mesure.

Le brouillage peut être reçu de plusieurs sources provenant simultanément de différents services. Les valeurs qui figurent dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) sont le niveau maximum de brouillage admis pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse des brouillages générés par un seul service actif. Des travaux ultérieurs devront donc traiter de l'impact de plusieurs services actifs au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

Les marges de brouillage pour les brouillages provenant du lobe principal de la station terrienne sont de 95 à 40 dB dans le lobe principal du détecteur et de 55 dB ou moins lorsque le lobe latéral du détecteur est couplé au lobe principal des stations terriennes. Les calculs de probabilité de survenance de ce brouillage par station terrienne montrent qu'il est faible. L'impact du brouillage de ces systèmes peut dépendre de la densité de population de stations terriennes.

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Dans une première étape, les niveaux de brouillage sont calculés dans le cas de cofréquence, où les stations terriennes du SFS sont supposées émettre dans la bande SETS (passive). Dans les cas où la largeur de bande nécessaire de la station terrienne est plus grande que celle de la bande SETS (passive), la puissance tombant dans la bande SETS est réduite proportionnellement, en supposant que la densité de puissance est constante dans la largeur de bande nécessaire.

Dans une seconde étape, le gabarit hors bande pour le service actif est pris en compte, et on définit la bande de garde qui pourrait être nécessaire pour protéger le service passif.

4.1.1 Stations terriennes du SFS OSG

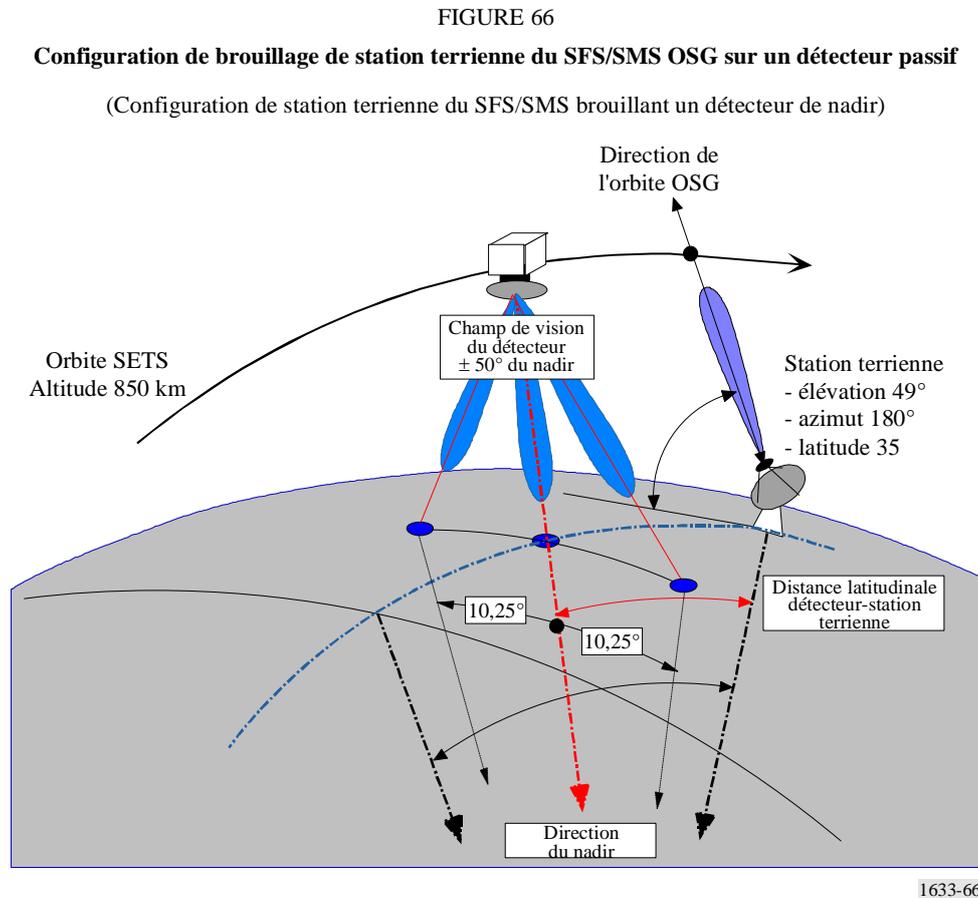
On adopte pour l'analyse les hypothèses de base suivantes:

- Le brouillage intervient via un couplage direct entre les antennes du détecteur passif et celles de la station terrienne du SFS.
- Les deux antennes sont constituées suivant la Recommandation UIT-R F.1245.
- Afin d'essayer d'identifier les configurations de cas le plus défavorable possible, on suppose que la direction de pointage de la station terrienne du SFS (visant l'orbite géostationnaire dans le cas du SFS OSG) est contenue dans le plan d'orbite du satellite d'exploration de la Terre. Cette configuration rend possible des voies de brouillage du lobe latéral du détecteur au lobe principal de la station terrienne et du lobe principal du détecteur au lobe latéral de la station terrienne. Les voies de brouillage de lobe principal à lobe principal peuvent aussi survenir, mais, comme les stations terriennes visent l'orbite géostationnaire, cela n'est possible qu'avec celles qui sont situées près de l'équateur; la probabilité qu'elles surviennent devrait faire l'objet d'une étude ultérieure dans une analyse dynamique qui n'est pas mise en oeuvre dans la présente étude.
- La station terrienne du SFS est supposée être située à une latitude de 35°. Cette valeur a été choisie comme un bon compromis pour représenter un cas le plus défavorable de scénario de lobe latéral de détecteur à lobe principal de station terrienne, parce qu'elle peut représenter la plus basse latitude au-dessus de laquelle les stations terriennes sont le plus

densément distribuées et où, du fait de l'angle d'incidence relativement élevé de la voie de brouillage (environ 49°), la protection naturelle due à l'affaiblissement de voie plus l'absorption atmosphérique est la plus faible.

- L'analyse dynamique du § 4.4 tiendra compte de latitudes entre 0° et 50° N afin d'obtenir une large gamme de résultats.

Cette configuration est décrite à la Fig. 66 qui indique les principaux paramètres géométriques de l'analyse.



4.1.2 Stations terriennes du SFS non OSG

Le problème est plus complexe parce que dans ce cas, la direction de pointage de la station terrienne est un paramètre variable: une station terrienne spécifique peut être pointée à tout angle d'élévation et à tout azimut.

Par convention, la présente étude se limite à une configuration similaire à celle adoptée pour le cas du SFS OSG (voir la Fig. 66), où les scénarios de lobe principal à lobe principal ne sont pas pris en compte. Il est cependant clair qu'il en résultera une évaluation très optimiste de la situation réelle.

4.2 Calcul du brouillage dans l'hypothèse cofréquence

En notant que les scénarios les plus critiques sont ceux qui impliquent simultanément une p.i.r.e. élevée et une largeur de bande nécessaire importante, on choisit un système non OSG et deux systèmes OSG sur ces critères pour une analyse détaillée; ce sont respectivement le «MEOSAT-X» (voir le Tableau 101), le «GEO-SV» et le «GSOV-B2» (voir le Tableau 102).

En supposant que la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne du SFS (visant l'orbite géostationnaire dans le cas de systèmes OSG) est contenue dans le plan orbital du satellite d'exploration de la Terre, et en considérant uniquement le faisceau de nadir du détecteur en peigne passif, on calcule les paramètres suivants, en fonction de la distance longitudinale entre le détecteur passif et la station terrienne du SFS:

- la longueur en ligne de vue entre le détecteur et la station terrienne (km);
- les angles de décalage entre les axes principaux des antennes de la ligne de vue du détecteur et de la station terrienne;
- les gains mutuels en direction l'une de l'autre, des antennes du détecteur de la station terrienne;
- l'affaiblissement dû à l'espace;
- l'absorption atmosphérique en fonction de l'angle d'élévation de la voie (Recommandation UIT-R P.676);
- la puissance reçue par le détecteur passif;
- la marge par rapport au seuil de brouillage dans la bande attribuée au SETS (passive);
- la taille de la zone autour de la position de la station terrienne, où les données du sondage sont contaminées par le brouillage.

4.3 Résultat de l'analyse et discussion

Les résultats sont donnés dans les Fig. 67 et 68 pour une station terrienne du SFS non OSG et dans les Fig. 69 et 70 pour une station terrienne du SFS OSG. Tandis que le satellite d'exploration de la Terre se déplace en direction de la station terrienne, un premier événement apparaît lorsque le détecteur croise le lobe principal de la station terrienne; puis un second événement survient lorsque le détecteur est au zénith de la station terrienne.

FIGURE 67

Puissance reçue au détecteur passif d'une station terrienne non OSG «MEOSAT-X»

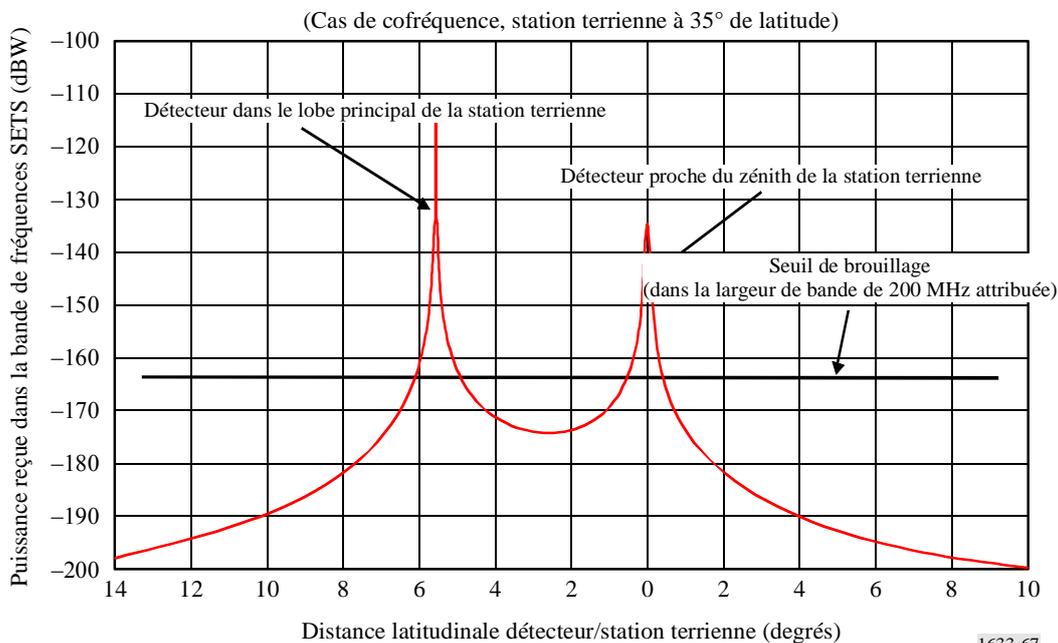
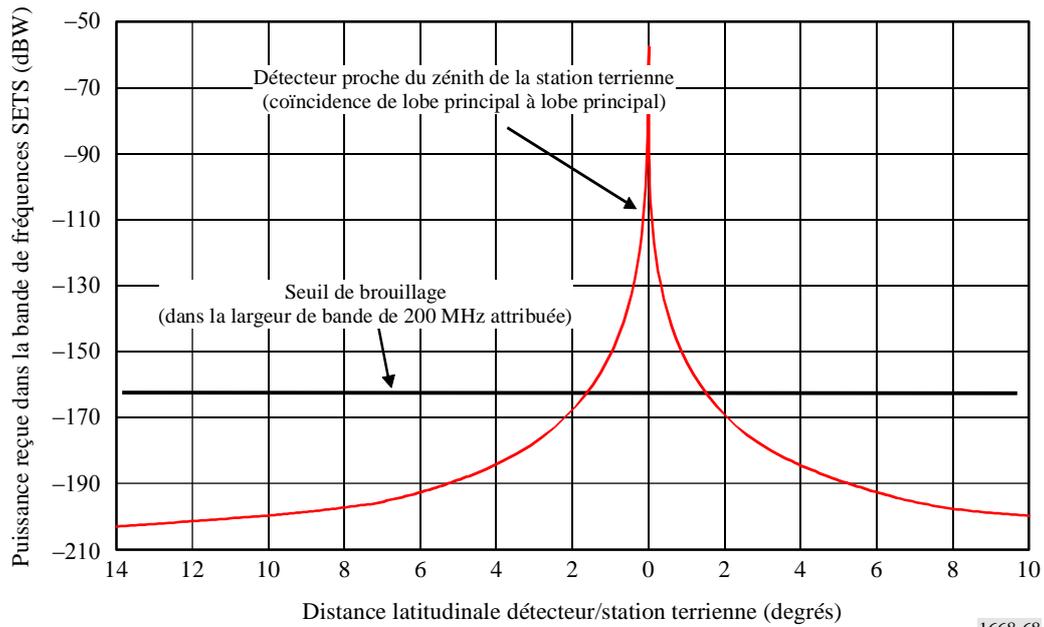


FIGURE 68

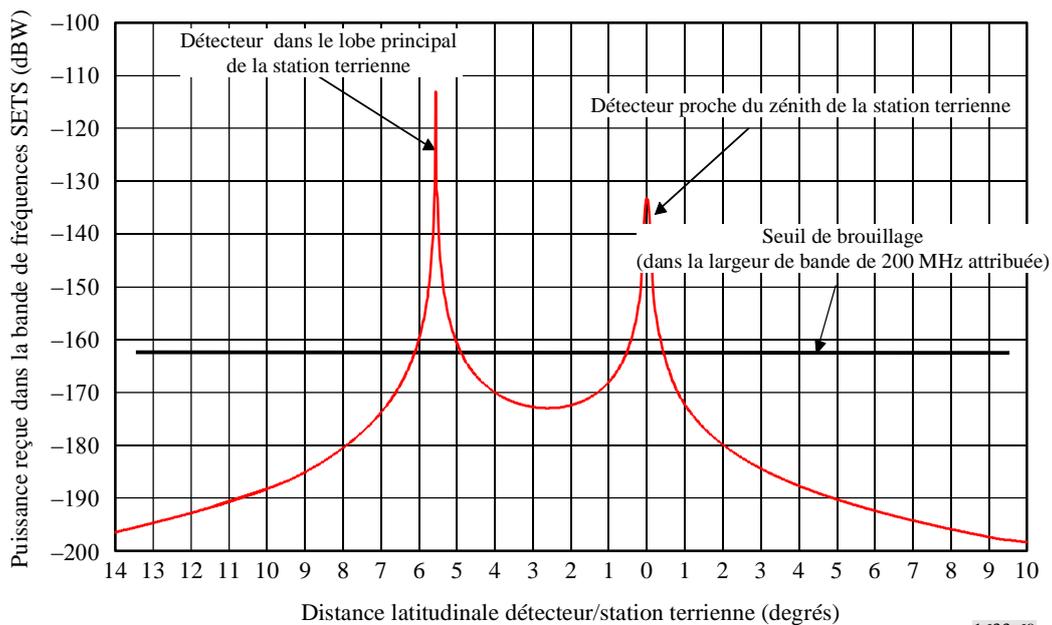
**Puissance reçue au détecteur passif d'une station terrienne non OSG «MEOSAT-X»
(Configuration de lobe principal à lobe principal)**



1668-68

FIGURE 69

**Puissance reçue au détecteur passif d'une station terrienne GSOV-B2
(Cas de cofréquence, station terrienne à 35° de latitude)**

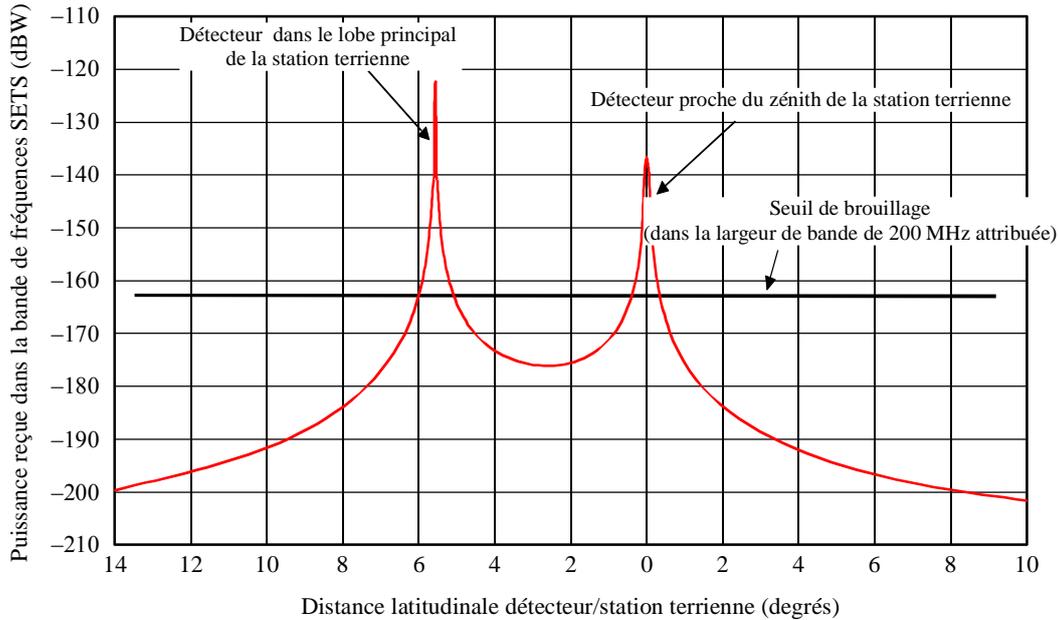


1633-69

Il faut noter que dans le cas des systèmes SFS non OSG, les voies de brouillage de lobe principal à lobe principal sont possibles à toutes les latitudes lorsque le détecteur passif passe près du zénith des stations terriennes. Dans ce cas, l'excès de puissance au-delà du seuil de brouillage est augmenté par la discrimination de lobe principal à lobe distant de l'antenne de la station terrienne (d'environ 80 dB).

FIGURE 70

Puissance reçue au détecteur passif d'une station terrienne GEO-SV
(Cas de cofréquence, station terrienne à 35° de latitude)



1633-70

4.3.1 Évènements de brouillage survenant via le lobe distant de l'antenne d'un détecteur passif et le lobe principal de l'antenne d'une station terrienne du SFS

Ils sont à près de 50 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur passif (non OSG «MEOSAT-X» et GSOV-B2). Ils durent jusqu'à 21 s, ce qui est à comparer à la période orbitale de 100 min du détecteur passif. Dans la mesure où les faisceaux d'antenne du détecteur sont activés en permanence, plusieurs lignes complètes de balayage (de 90 pixels chacune) peuvent être perdues à chaque évènement. Cela conduit à une perte d'environ 810 pixels par évènement dans le cas du réseau GSOV-B2. Comme le satellite d'exploration de la Terre a une orbite presque polaire, la condition requise pour le brouillage est une coïncidence dans les $\pm 0,6^\circ$ autour de la longitude de la station terrienne. La probabilité d'occurrence de tels évènements devra être étudiée plus en détail, en considérant en particulier les paramètres de dérive d'orbite du détecteur passif, la densité et la latitude des stations terriennes et les critères de disponibilité des détecteurs passifs. Compte tenu de la magnitude des évènements, on peut cependant douter que leur probabilité d'occurrence soit négligeable.

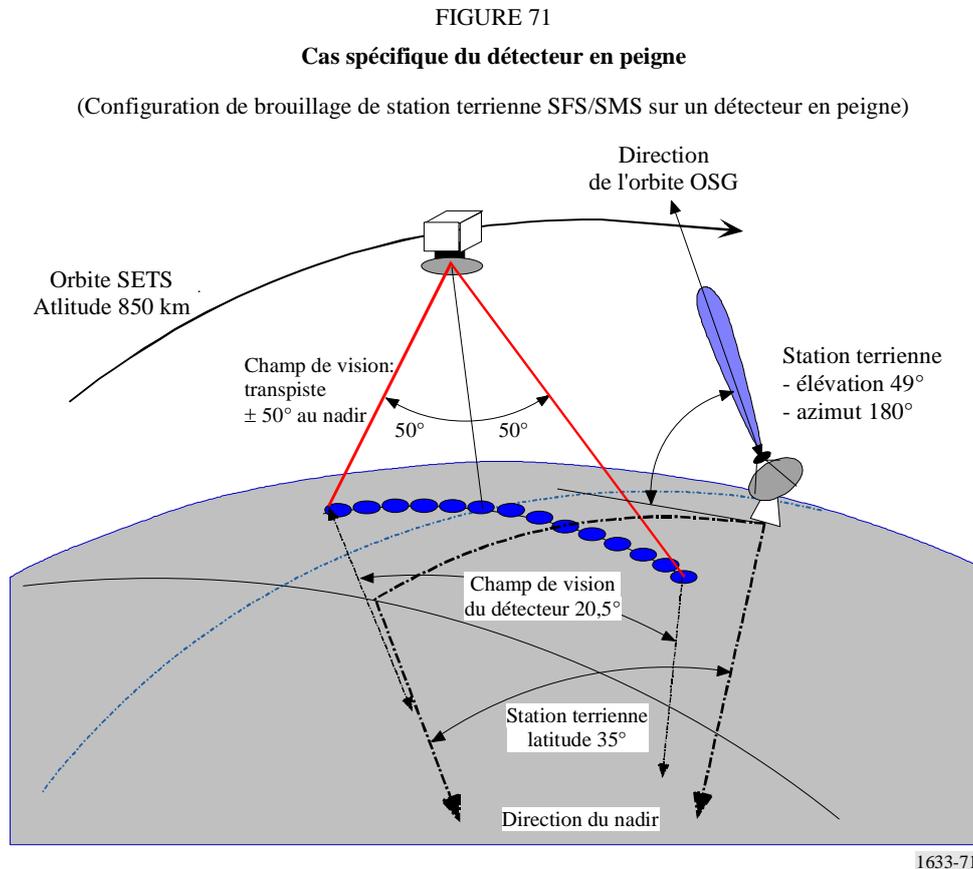
4.3.2 Brouillage survenant lorsque le détecteur passif est proche du zénith de la station terrienne du SFS

Ils sont à près de 30 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur dans le cas de réseaux OSG, mais peuvent atteindre plus de 105 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur dans le cas de réseaux non OSG (configuration de lobe principal à lobe principal). Ils sont aussi une très sérieuse source de préoccupation, parce que le champ de vision à 100° du détecteur «en peigne» (croisant la piste) se compose d'environ 90 faisceaux d'antenne adjacents, activés en permanence, créant une zone longitudinale de $\pm 10,25^\circ$ autour de la position de la station terrienne dans laquelle le détecteur peut recevoir des brouillages gênants dans tout faisceau de ses antennes.

Le brouillage interviendra donc chaque fois que les deux conditions géométriques suivantes seront réunies:

- le détecteur croise la latitude de la station terrienne;
- le détecteur est à une distance longitudinale de $\pm 10,25^\circ$ de la station terrienne.

Cette configuration est illustrée à la Fig. 71.



Lorsqu'on considère que la distance longitudinale entre deux orbites successives est d'environ 25° à l'équateur, il en résulte que le fonctionnement du détecteur passif sera gêné par un évènement de brouillage environ deux fois par jour à partir d'une unique station terrienne, en tenant compte à la fois du trajet orbital ascendant et descendant. Le nombre d'évènements augmente avec la latitude de la station terrienne, car la distance entre les orbites successives décroît avec le cosinus de la latitude. Il est directement proportionnel au nombre de stations terriennes.

Les principales caractéristiques de chaque évènement de brouillage sont les suivantes, dans le cas d'une station terrienne du SFS GSOV-B2:

- la durée est d'environ 16 s;
- une zone circulaire d'environ 110 km de diamètre sur la surface de la Terre, autour de chaque position de station terrienne, est contaminée par un brouillage nuisible;
- cette zone de $9\,500\text{ km}^2$, correspondant à 47 pixels, est à comparer à la zone de service de référence de $2\,000\,000\text{ km}^2$ du détecteur qui est stipulée dans les Recommandations UIT-R SA.1028 et UIT-R SA.1029;
- le critère de non-disponibilité de 0,01% est dépassé de beaucoup dans le voisinage des stations terriennes.

Les résultats numériques les plus significatifs sont résumés dans les Tableaux 103 et 104.

TABLEAU 103

**Excédent de puissance au-delà du seuil de brouillage, réseaux non OSG
(hypothèse de cofréquence)**

Lobes distants du détecteur à lobe principal de la station terrienne	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2
Excédent de puissance dans les faisceaux de l'antenne du détecteur (dB)	49,2	21,4	30,9
Zone géographique concernée (approximativement) (km)	125 × 110	–	–
Nombre de pixels contaminés (approximativement)	8 lignes de balayage	–	–
Durée d'un évènement (approximativement) (s)	18	–	–
Détecteur proche du zénith de la station terrienne	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2
Brouillage des lobes principaux du détecteur sur le lobe distant de la station terrienne			
Excédent de puissance dans le faisceau de nadir (dB)	28,3	4,5	12
Excédent de puissance dans les faisceaux hors-nadir à $\pm 50^\circ$ (dB)	22,1	Aucun	6
Zone autour de la station terrienne (approximativement) (km)	Diamètre 98	–	–
Nombre de pixels/évènements contaminés	38 pixels	–	–
Durée d'un évènement (s)	15	–	–
Détecteur proche du zénith de la station terrienne	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2
Brouillage des lobes principaux du détecteur sur le lobe principal de la station terrienne			
Excédent maximum de puissance dans les faisceaux du détecteur (dB)	105,6	70	81
Zone autour de la station terrienne (approximativement) (km)	Diamètre 325	–	–
Nombre de pixels contaminés (approximativement)	20 lignes de balayage	–	–
Durée moyenne d'un évènement (approximativement) (s)	46	–	–

NOTE 1 – La durée des évènements est évaluée avec l'hypothèse que la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne est stable (c'est-à-dire que seul le satellite SETS est en mouvement). Il est clair que cette durée peut être plus courte ou plus longue en fonction de la vitesse relative des satellites SETS et SFS non-OSG.

TABLEAU 104

**Excédent de puissance au-delà du seuil de brouillage, réseaux OSG
(hypothèse de cofréquence)**

Détecteur dans le lobe principal de la station terrienne	Station terrienne SFS V-B2	Station terrienne SFS SV
Excédent de puissance (dB)	49,9	40,5
Zone concernée (approximativement) (km)	150 × 130	102 × 88
Nombre de pixels/événements contaminés	9 lignes de balayage	6,4 lignes de balayage
Durée d'un évènement (approximativement) (s)	21	15
Détecteur proche du zénith de la station terrienne	Station terrienne SFS V-B2	Station terrienne SFS SV
Faisceau de nadir (dB)	29,7	26,4
Faisceaux hors-nadir à $\pm 50^\circ$ (dB)	23,5	20,2
Zone autour de la station terrienne (approximativement) (km)	Diamètre 110	Diamètre 82
Nombre de pixels/événements contaminés	47	27
Durée d'un évènement (approximativement) (s)	16	12

Noter que les configurations de lobe principal à lobe principal deviennent possibles avec des stations terriennes du SFS OSG situées à proximité de l'équateur. Dans ce cas, l'excédent de puissance indiqué dans la seconde partie du Tableau 104 est augmenté par la discrimination d'antenne de la station terrienne (jusqu'à 80 dB). La probabilité d'occurrence de telles configurations doit faire l'objet d'études complémentaires.

4.4 Analyse de brouillage dynamique

En plus des cas statique et semi-statique ci-dessus, une analyse dynamique est nécessaire afin de prendre en considération le pourcentage du temps pendant lequel intervient le brouillage. Comme indiqué ci-dessus, le seuil de -166 dBW ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,01% du temps dans une largeur de bande de 100 MHz.

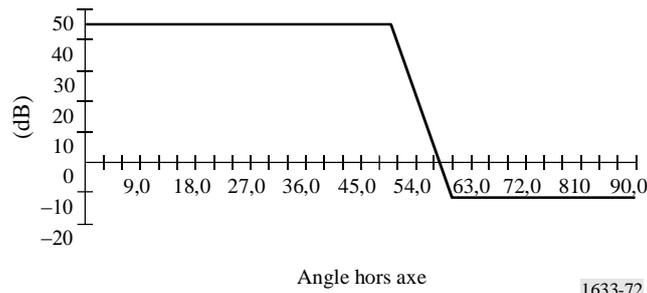
Des simulations ont été effectuées pour déterminer la probabilité de survenance d'un brouillage en utilisant un incrément de temps (échantillonnage) de 5 s afin d'obtenir des résultats précis. Les simulations sont arrêtées lorsque la fonction de distribution cumulée devient stable. De plus, on a noté que toutes ces simulations, qui sont présentées ci-dessous, ne traitent que du satellite «en peigne» à sondeur de nadir, parce que les cas statique et semi-statique ci-dessus ont montré qu'il s'agit du cas de figure le plus défavorable.

4.4.1 Modélisation de l'antenne en peigne

Comme expliqué ci-dessus, l'antenne en peigne est capable de voir une ligne complète de pixels situés autour du nadir à $\pm 50^\circ$ pour l'azimut, et à $\pm 0,55^\circ$ pour l'élévation. Le gain d'antenne maximum est de 45 dBi, et comme il est habituel pour les antennes de radiomètres, il y a une forte décroissance du niveau de lobe latéral de -12 dBi. La Fig. 72 montre le diagramme d'antenne en fonction de l'angle hors axe d'azimut.

FIGURE 72

Diagramme d'antenne en peigne composite



1633-72

4.4.2 Calculs dynamiques avec des systèmes OSG

TABLEAU 105

Analyse dynamique entre un système OSG GSOV-B2 et le SETS avec une seule station terrienne fonctionnant sur le site N0, E0

Pourcentage de distribution cumulative	3	1	0,1	0,06	0,01	0,001	0,0002
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 150 MHz)	-220	-200	-186	-166	-138	-115	-58

Le Tableau 105 montre qu'il est possible de trouver une différence de 108 dB entre le seuil de -166 dBW et la puissance maximum de -58 dBW reçue par le radiomètre. Un tel niveau présente un risque de dommage au détecteur.

TABLEAU 106

Analyse dynamique entre un système OSG GSOV-B2 et le SETS avec une seule station terrienne fonctionnant sur le site N50, E0

Pourcentage de distribution cumulative	5,3	1	0,1	0,08	0,01	0,008
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 150 MHz)	-220	-194	-170	-166	-138	-134

Selon les Tableaux 105 et 106, il y a un risque que le satellite SETS rencontre un brouillage lorsqu'une seule station terrienne fonctionne (ou que le pourcentage de données brouillées est au-dessus de ce qui est acceptable). En prenant en compte la largeur de bande relative, l'affaiblissement spectral requis est de 26,3 dB pour GSOV-B2. On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus important de stations terriennes soient opérationnelles dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans les Tableaux 105 et 106. L'augmentation du nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques va vraisemblablement accroître le pourcentage du temps pendant lequel le critère SETS est dépassé. Dans ce cas, les conclusions tirées au § 4.5 sur la quantité de bandes de garde nécessaires devraient être réévaluées.

4.4.3 Calculs dynamiques avec des systèmes non OSG

TABLEAU 107

Analyse dynamique entre le système non-OSG MEOSAT-X et le SETS avec six stations terriennes réparties autour de l'équateur

Pourcentage de distribution cumulative	23	1	0,3	0,1	0,01	0,009
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 500 MHz)	-250	-175	-166	-134	-120	-119

TABLEAU 108

Analyse dynamique entre système non-OSG MEOSAT-X et SETS avec six stations terriennes fonctionnant à (N35,E0), (N35,E60), (N35,E120), (N0,O60), (N35,O110), (N35,O80)

Pourcentage de distribution cumulative	25	1	0,4	0,1	0,01	0,004
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 500 MHz)	-250	-175	-166	-131	-123	-122

Selon les Tableaux 107 et 108, il y a un risque que le satellite SETS rencontre un brouillage lorsque six stations terriennes fonctionnent (ou que le pourcentage de données brouillées est au-dessus de ce qui est acceptable). Dans ce cas, l'affaiblissement spectral requis est de 39 dB pour MEOSAT-X dans le cas le plus défavorable. On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus important de stations terriennes soient opérationnelles dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans les Tableaux 107 et 108. L'augmentation du nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques va vraisemblablement accroître le pourcentage du temps pendant lequel le critère SETS est dépassé. Dans ce cas, les conclusions tirées au § 4.5 sur la quantité de bandes de garde nécessaires devraient être réévaluées.

4.5 Application de la représentation spectrale hors bande aux émissions de la station terrienne du SFS

En considérant maintenant que les stations terriennes du SFS émettent dans leur propre bande de fréquences, la suppression de leur puissance d'émission au sein de la bande adjacente attribuée au SETS (passive) se tient dans la gamme 26,4 dB à 49,9 dB pour les configurations impliquant les systèmes GSOV-B2 et SV. On a aussi calculé les valeurs de crête en cas de scénarios impliquant les autres systèmes OSG dont la liste figure au Tableau 102.

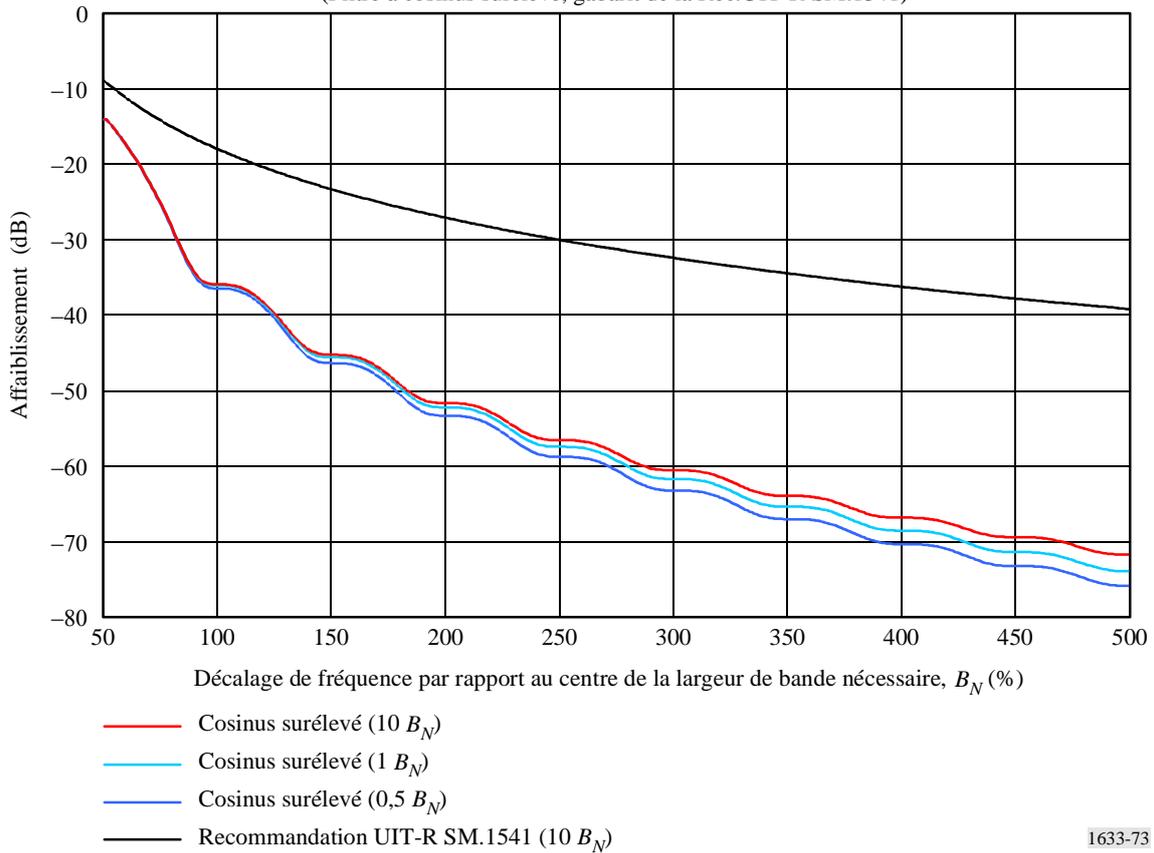
La Fig. 73 représente la puissance tombant dans l'attribution du SETS, en fonction de la bande de garde. Pour couvrir les caractéristiques variables des émissions du SFS, l'intégration glissante est effectuée pour trois valeurs de la bande passive, exprimées en terme de pourcentage de la largeur de bande SFS nécessaire (1 000, 100 et 50%). Il n'y a qu'une différence mineure entre les trois courbes.

Noter que sur la Fig. 73, le décalage de fréquence est pris à partir du centre de la largeur de bande nécessaire. Cela servira à déterminer la séparation minimum entre le centre de la largeur de bande nécessaire et la limite supérieure de la bande attribuée au SFS qui est requise pour la protection de la bande adjacente attribuée au SETS contre les rayonnements non désirés du SFS.

FIGURE 73

Affaiblissement de la puissance hors bande contenue dans la largeur de bande du SETS

(Suppression de puissance totale selon le décalage de fréquence)
(Filtre à cosinus surélevé, gabarit de la Rec.UIT-R SM.1541)



1633-73

En utilisant cette représentation spectrale, on peut calculer les conditions suivantes, qui sont résumées dans les Tableaux 109 et 110 pour les systèmes SFS non OSG, et dans les Tableaux 111 et 112 pour les systèmes SFS OSG. La dernière ligne de ces Tableaux indique la bande de garde supplémentaire qui serait nécessaire entre la limite supérieure de la bande et la limite inférieure de la bande attribuée au SETS, pour protéger les détecteurs passifs contre les rayonnements non désirés dans la bande adjacente. La bande de garde supplémentaire s'exprime par le décalage à partir du centre de $B_N - B_N/2$.

TABLEAU 109

**Résumé des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs
contre les stations terriennes du SFS non OSG
(Lobe distant du détecteur à lobe principal de la station terrienne)**

Système SFS	MEOSAT-X
Suppression de puissance requise (dB)	49,2
Largeur de bande nécessaire (MHz)	500
Attribution passive (% B_N)	40
Décalage par rapport au centre de B_N (% B_N)	180
Décalage par rapport au centre de B_N (MHz)	900
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	650

TABLEAU 110

Résumé des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs contre les stations terriennes du SFS non OSG (Détecteur proche du zénith de la station terrienne)

Systeme SFS	MEOSAT-X
Suppression de puissance requise (dB)	105,6
Largeur de bande nécessaire (MHz)	500
Attribution passive (% B_N)	40
Décalage par rapport au centre de B_N (% B_N)	> 500
Décalage par rapport au centre de B_N (MHz)	> 2500
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	Hors de portée

L'analyse dynamique donne un affaiblissement requis de 39 dB, correspondant à une bande de garde requise de 375 MHz.

TABLEAU 111

Résumé des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs contre les stations terriennes du SFS OSG (Détecteur dans le lobe principal de la station terrienne)

Systeme SFS	GSOV-B1	GSOV-B2	GSO-VX	GSO-SV	GEOSAT	
					Passerelle	Usager
Suppression de puissance requise (dB)	Aucune	49,9	37,2	40,5	49,1	34,4
Largeur de bande nécessaire (MHz)	105,6	150	300	200	125	11
Bande passive (% B_N)	190	133	67	100		
Décalage au centre de B_N (% B_N)	Aucun	184	116	128	181	91
Décalage au centre de B_N (MHz)	Aucun	276	250	256	226	10
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	201	100	156	164	0

TABLEAU 112

Résumé des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs contre les stations terriennes du SFS OSG (Détecteur proche du zénith de la station terrienne)

Systeme SFS	GSOV-B1	GSOV-B2	GSO-VX	GSO-SV	GEOSAT	
					Passerelle	Usager
Suppression de puissance requise (dB)	Aucune	29,7	17	26,4	28,9	14,2
Largeur de bande nécessaire (MHz)	105,6	150	300	200	125	11
Attribution passive (% B_N)	190	133	67	100	160	1 818
Décalage au centre de B_N (% B_N)	Aucun	82	60	77	81	53
Décalage au centre de B_N (MHz)	Aucun	123	180	154	101	6
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	0	48	30	54	39	0

L'analyse dynamique donne un affaiblissement requis de 26,3 dB pour GSOV-B2, ce qui implique une bande de garde de 30 MHz.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Ce sujet devra faire l'objet d'études supplémentaires.

5.2 SFS

5.2.1 Décalage du canal actif de la bordure de bande

Les résultats de l'analyse (voir les Tableaux 111 et 112) indiquent que, dans la plupart des cas, des décalages de fréquence considérables seraient nécessaires entre le centre des largeurs de bande nécessaires et la limite supérieure de la bande attribuée au SFS pour protéger les détecteurs passifs contre les rayonnements non désirés. Les situations les plus critiques sont obtenues avec des émissions qui impliquent simultanément une p.i.r.e. élevée et une importante largeur de bande nécessaire. Comme la vraisemblance de coïncidences de lobe principal à lobe principal peut être forte dans le cas de systèmes SFS non OSG et dans le cas de stations terriennes du SFS OSG proches de l'équateur, dans la plupart des cas, il est difficile de réaliser un décalage de fréquence acceptable pour protéger l'attribution passive adjacente.

5.2.2 Puissance et largeur de bande nécessaire

La réduction de puissance et de largeur de bande nécessaire pourraient réduire la taille du décalage de fréquence nécessaire.

5.2.3 Inversion des directions d'émission

Selon les caractéristiques de certaines liaisons SFS OSG Terre vers espace, des bandes de garde d'environ 30 MHz (selon l'analyse dynamique) seraient nécessaires pour protéger complètement la bande SETS (passive) de 50,2-50,4 GHz.

Les caractéristiques de certaines liaisons Terre vers espace du SFS non OSG les rendent clairement incompatibles avec un fonctionnement satisfaisant des détecteurs passifs dans la bande de fréquences adjacente, parce que le décalage de fréquence qu'elles requerraient pour garantir une suppression suffisante de la puissance non désirée est habituellement trop important (une bande de garde d'environ 375 MHz). Dans le Tableau 113, l'excédent de puissance au-delà du seuil de brouillage est calculé (hypothèse de cofréquence) en supposant que les liaisons espace vers Terre sont mises en oeuvre dans la bande de fréquences 47,2-50,2 GHz, au lieu de la bande de fréquences 37,5-42,5 GHz. Les résultats montrent que cette situation serait plus favorable et qu'aucun décalage de fréquence, ou seulement des décalages mineurs, ne serait requis pour protéger la bande passive attribuée.

TABLEAU 113

Brouillage cofréquence avec des liaisons descendantes SFS

Système SFS	MEOSAT-X	LEO V1	LEO V2	GSO-VX	GSO-SV	GSOV-B2
Fréquence (GHz)	37,5-42,5					
Forme d'orbite	Circulaire			GSO		
Altitude d'orbite (km)	10 352	1 350	10 355	35 900		
p.i.r.e. (dBW)	60	46,9	49,5	56	62	63,8
Largeur de bande (MHz)	500	90	300	300	200	150
Distance minimum au détecteur (km)	9 502	500	9 505	35 050	-850	-850
Affaiblissement minimum de voie (dB)	-206,03	-180,45	-206,03	-217,37	-217,37	-217,37
Puissance reçue en cofréquence (dBW)	-162,34	-145,88	-170,62	-175,46	-167,70	-165,90
Excédent de puissance au-delà du seuil de brouillage (dB)	0,66	17,12	-7,62	-12,46	-4,70	-2,90

NOTE 1 – Il faudrait peut-être redéfinir les caractéristiques susmentionnées.

5.2.4 Filtrage en bande de base

Les niveaux de rayonnements non désirés provenant des systèmes du service actif peuvent être réduits grâce à l'utilisation de techniques de modulation et de filtrage efficaces.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

L'impact potentiel sur le SETS (passive) ne peut pas être évalué tant que les techniques de réduction des brouillages (§ 5.1) ne seront pas finalisées.

5.3.2 SFS

L'impact des techniques de réduction des brouillages reste à évaluer.

6 Résultats des études

La présente analyse montre qu'en général, un détecteur en peigne recevra une puissance non désirée considérable, excédant le seuil de brouillage à la fois en magnitude et en durée, deux fois par orbite à travers un de ses faisceaux d'antenne, lorsque qu'il croise la latitude de toute station terrienne.

Les cas les plus défavorables de configurations impliquant des voies de brouillage à travers le lobe principal de la station terrienne sont les plus dommageables parce qu'ils conduisent à la perte d'un certain nombre de lignes de balayage complètes successives du détecteur passif. De plus, la magnitude de l'excès de puissance au-delà du seuil de brouillage, qui peut se monter jusqu'à 108 dB, peut avoir un effet destructeur sur les récepteurs du détecteur passif.

Annexe 20

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 50,2-50,4 GHz et les systèmes du SFS (Terre vers espace) et du SMS (Terre vers espace) fonctionnant dans la bande 50,4-51,4 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

Les attributions adjacentes à la bande passive de 50,2-50,4 GHz du SETS figurent dans le Tableau 114. On notera que la bande 50,2-50,4 GHz est couverte par le numréo 5.340 du RR et que le numréo 5.340.1 du RR s'applique aussi.

TABLEAU 114

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Services dans la bande attribuée supérieure
47,2-50,2 GHz	50,2-50,4 GHz	50,4-51,4 GHz
FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE 5.149 5.340 5.552 5.552A 5.555	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.340 5.555A	FIXE FIXE PAR SATELLITE (Terre vers espace) MOBILE Mobile par satellite (Terre vers espace)

1.2 Application

Cette bande de fréquences est une de celles qui, entre 50 GHz et 60 GHz, sont utilisées collectivement pour fournir les profils tridimensionnels de température de l'atmosphère.

Ces mesures alimentent les modèles numériques de prévision météorologique. Le modèle a besoin de données toutes les six heures et est utilisé pour des prévisions météorologiques à maillage fin (10 km ou moins) à court terme (6 à 48 h.)

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

Le premier critère est la puissance brouilleuse acceptable reçue par le détecteur SETS, qui est de -166 dBW dans la largeur de bande de référence de 100 MHz. C'est un niveau de brouillage maximum en provenance de toutes sources.

Le second critère est la limite de fréquence d'occurrence de dépassement du seuil. Pour les sondeurs de nadir utilisés pour les mesures tridimensionnelles de la température atmosphérique ou de la concentration gazeuse, la proportion de cellules de mesure perdues à cause du brouillage ne doit pas dépasser 0,01%. Cette limite de fréquence d'occurrence est valable pour les sondeurs à balayage mécanique et pour les sondeurs de nadir en peigne.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Trois types de détecteur ont été étudiés pour faire des mesures dans cette gamme de fréquences. Le radiomètre à balayage à piste croisée qui peut balayer à travers le nadir, le radiomètre à balayage conique qui balaye en arc en face de la station spatiale à travers sa piste et le détecteur en peigne qui utilise des faisceaux fixes multiples à travers sa piste. Le détecteur en peigne sera analysé parce qu'il représente l'avenir en sondage hyperfréquence. Il a l'avantage spécifique de permettre un temps d'intégration plus long. Le Tableau 115 donne les caractéristiques de fonctionnement du détecteur étudié.

TABLEAU 115
Paramètres du détecteur en peigne

Paramètre	Valeur
Altitude (km)	850
Orbite	Polarisation synchrone au soleil
Gain d'antenne du lobe principal (dBi)	45
Ouverture de faisceau d'antenne à 3 dB (degrés)	1,1
Diagramme d'antenne	Recommandation UIT-R F.1245
Champ de vision (par rapport au détecteur)	$\pm 50^\circ$ dans la direction du nadir en croisant la piste
Champ de vision (par rapport au centre de la Terre)	$\pm 10,25^\circ$ géocentrique
Diamètre de pixel au nadir (km)	16
Pixels par largeur de couloir	90
Largeur de couloir (km)	2 300

2 SFS et SMS

2.1 Bande d'émission attribuée

Voir le Tableau 114.

2.2 Application

Les services actifs pris en compte dans la présente Annexe sont le SFS (Terre vers espace) et le SMS (Terre vers espace) dans la bande 47,2-50,2 GHz.

2.3 Niveaux fondés sur la représentation spectrale

La présente Annexe utilise la représentation spectrale du cosinus surélevé qui est décrite à l'Annexe 1. Cette représentation spectrale est destinée aux études bande par bande et est provisoire, en attendant une révision à l'avenir au sein de l'UIT-R. Elle représente de façon très générale la distribution de puissance moyenne typique à travers les domaines des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels dans l'attribution adjacente ou voisine.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

Les caractéristiques des SFS et SMS sont tirées de la Recommandation UIT-R S.1328-3 «Caractéristiques de systèmes à satellites à prendre en compte dans les analyses de partage des fréquences entre systèmes à satellites sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) et système à satellites non OSG dans le service fixe par satellite (SFS), y compris les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS)». Les terminaux du SMS sont modélisés comme ceux du SFS, excepté pour les largeurs de bande plus étroites et les plus petites antennes. On suppose qu'elles sont montées sur un véhicule et utilisées lorsqu'il est au repos.

TABLEAU 116

Caractéristiques des stations terriennes OSG à liaison montante

	Système	
	Fixe par satellite	Mobile par satellite
Polarisation	Circulaire gauche/droite	Circulaire droite/gauche
Modulation	MDP-4	MDP-4
Largeur de bande (MHz)	125	11
p.i.r.e. (dBW)	83,9	69,2
Gain d'antenne (dBi)	64,8	59,3
Puissance de l'émetteur (dBW)	19,1	9,9

3 Seuil de compatibilité

Le brouillage peut être reçu de plusieurs sources provenant simultanément de plusieurs services. La valeur qui figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau maximum de brouillage admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif. Des travaux complémentaires sont donc nécessaires pour traiter de l'impact de services actifs multiples au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

Dans une première étape, les niveaux de brouillage sont calculés dans le cas de cofréquence, où les stations terriennes du SFS/SMS sont supposées émettre dans la bande SETS (passive). Dans les cas où la largeur de bande nécessaire de la station terrienne est plus grande que celle de la bande SETS (passive), la puissance émise est réduite proportionnellement, en supposant que la densité de puissance soit constante dans la largeur de bande nécessaire.

Dans une seconde étape, le gabarit hors bande pour le service actif est pris en compte, et on définit la bande de garde qui pourrait être nécessaire pour protéger le service passif.

On adopte pour l'analyse les hypothèses de base suivantes:

- Le brouillage intervient via un couplage direct entre les antennes du détecteur passif et celles de la station terrienne du SFS/SMS.
- Les deux antennes sont constituées suivant la Recommandation UIT-R F.1245.
- A titre de configuration de cas le plus défavorable possible, on suppose que la direction de pointage de la station terrienne du SFS/SMS (visant l'orbite géostationnaire) est contenue dans le plan d'orbite du satellite d'exploration de la Terre. Cette configuration rend possible des voies de brouillage du lobe latéral du détecteur au lobe principal de la station terrienne et du lobe principal du détecteur au lobe latéral de la station terrienne. Les voies de brouillage de lobe principal à lobe principal sont aussi possibles, mais seulement si les stations terriennes sont situées près de l'équateur, cas qui n'est pas développé dans la présente Annexe.
- La station terrienne du SFS/SMS est supposée être située à une latitude de 35°. Cette valeur a été choisie comme bon compromis pour représenter un cas le plus défavorable de scénario de lobe latéral de détecteur à lobe principal de station terrienne, parce qu'elle peut représenter la plus basse latitude au-dessus de laquelle les stations terriennes sont le plus densément distribuées et où, du fait de l'angle d'incidence relativement élevé de la voie de brouillage (environ 49°), la protection naturelle due à l'affaiblissement du trajet plus l'absorption atmosphérique est la plus faible.
- L'analyse dynamique du § 4.4 tiendra compte de latitudes entre 0° et 50° N afin d'obtenir une large gamme de résultats.

Cette configuration est décrite à la Fig. 74 qui indique les principaux paramètres géométriques de l'analyse.

4.2 Calcul de brouillage dans l'hypothèse de cofréquence

En supposant que la direction de pointage de l'antenne de la station terrienne du SFS/SMS (visant l'orbite géostationnaire) est contenue dans le plan orbital de l'exploration de la Terre par satellite, et en ne considérant que le faisceau de nadir du détecteur en peigne passif, on calcule les paramètres suivants en fonction de la distance latitudinale entre le détecteur passif et la station terrienne du SFS/SMS:

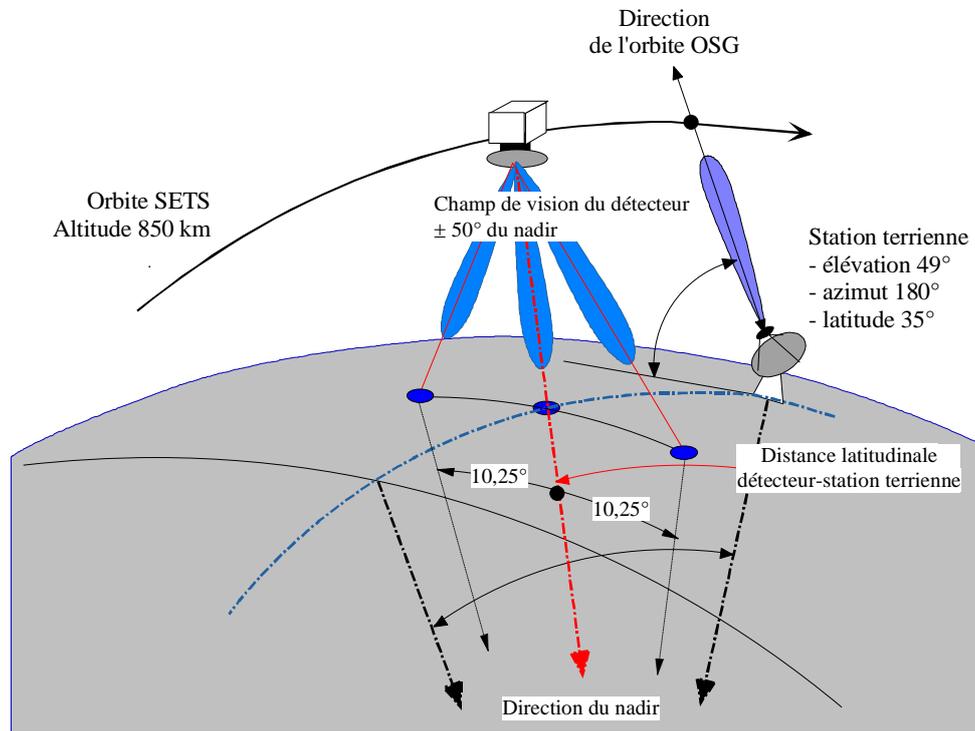
- la distance linéaire entre le détecteur et la station terrienne (km);
- les angles de décalage entre la ligne de visée du détecteur/station terrienne et l'axe principal des antennes;

- les gains mutuels en direction l'une de l'autre, des antennes du détecteur et de la station terrienne;
- l'affaiblissement de l'espace;
- l'absorption atmosphérique en fonction de l'angle d'élévation du trajet (Recommandation UIT-R P.676);
- la puissance reçue par le détecteur passif dans la largeur de bande de 200 MHz attribuée;
- la marge par rapport au seuil de brouillage, dans les cas du SFS et du SMS;
- la taille de la zone autour de la position de la station terrienne, où les données du sondage sont contaminées par le brouillage.

FIGURE 74

Configuration de brouillage de station terrienne SFS/SMS sur un détecteur passif

(Configuration de brouillage de station terrienne SFS/SMS sur un détecteur de nadir)



1633-74

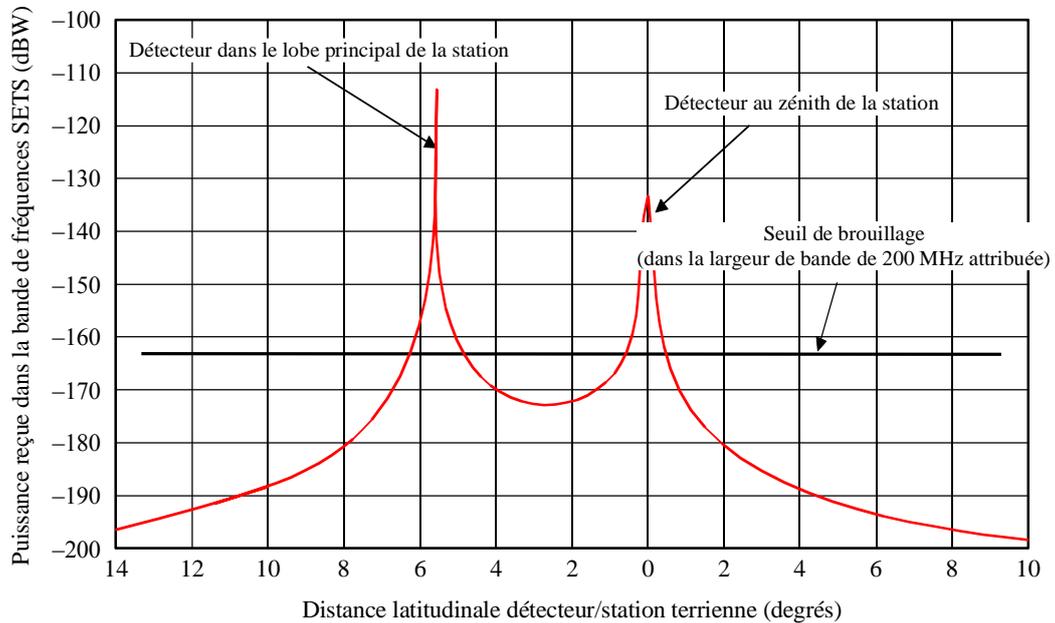
Le Tableau 118 donne un échantillon de calcul numérique à la fin du présent document. Noter que la résolution (en latitude) de la feuille de calcul réelle est dix fois meilleure, afin d'identifier précisément les pointes de brouillage et la taille des zones contaminées.

4.3 Résultat de l'analyse et discussion

Les résultats sont contenus dans les Fig. 75 et 76, respectivement pour les stations terriennes du SFS et SMS. Alors que l'exploration de la Terre par satellite se déplace en direction de la station terrienne, un premier évènement apparaît lorsque le détecteur croise le lobe principal de la station terrienne; puis un second évènement survient lorsque le détecteur est au zénith de la station terrienne.

FIGURE 75

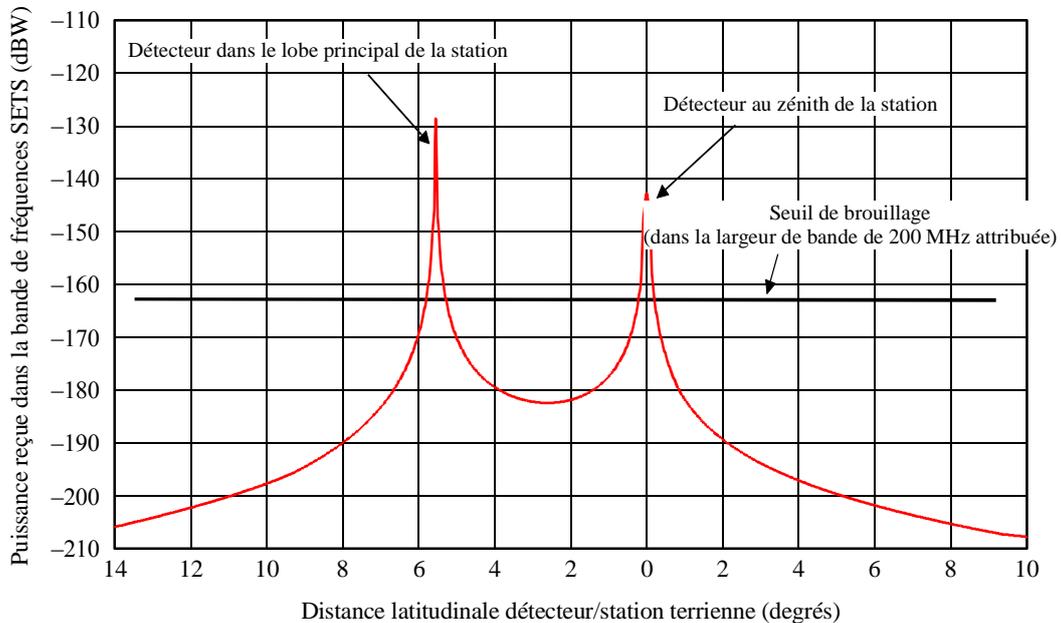
Puissance reçue par le détecteur passif en provenance d'une station terrienne SFS
(Cas cofréquence, station terrienne à 35° de latitude)



1633-75

FIGURE 76

Puissance reçue par le détecteur passif en provenance d'une station terrienne SMS
(Cas cofréquence, station terrienne à 35° de latitude)



1633-76

4.3.1 Evènements de brouillage survenant lorsque le détecteur passif est dans le lobe principal de la station terrienne du SFS

Ils sont de 49 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur passif. Ils durent jusqu'à 21 s, ce qui est à comparer à la période orbitale du détecteur passif de 100 min. Dans la mesure où tous les faisceaux d'antenne du détecteur sont activés en permanence, plusieurs lignes de balayage complètes (de 90 pixels chacune) sont contaminées à chaque évènement; ce qui nous conduit à une perte d'environ 810 pixels à chaque évènement dans le cas d'une station terrienne du SFS OSG. Le satellite d'exploration de la Terre étant presque en orbite polaire, la condition requise pour le brouillage est une coïncidence dans les $\pm 0,6^\circ$ autour de la longitude de la station terrienne. La probabilité d'occurrence de tels évènements devrait faire l'objet d'études complémentaires, en considérant en particulier les paramètres de dérive de l'orbite du détecteur passif, la densité et la latitude des stations terriennes et les critères de disponibilité des détecteurs passifs. Du fait de la taille de ces évènements, il est douteux que la probabilité d'occurrence puisse être négligée.

4.3.2 Brouillage survenant lorsque le détecteur passif est proche du zénith de la station terrienne du SFS

Ils sont à 29,5 dB au-dessus du seuil de brouillage du détecteur. Ils constituent le plus sérieux sujet de préoccupation, parce que le champ de vision à 100° du détecteur en peigne (croisant la piste) est composé d'environ 90 faisceaux d'antenne adjacents, activés en permanence, qui créent une zone longitudinale de $\pm 10,25^\circ$ autour de la position de la station terrienne, où le détecteur peut recevoir des brouillages gênants dans tous ses faisceaux d'antenne.

Le brouillage va donc certainement survenir lorsque les deux conditions géométriques suivantes sont satisfaites:

- le détecteur croise la latitude de la station terrienne;
- le détecteur est à une distance longitudinale dans les $\pm 10,25^\circ$ de la station terrienne.

Si on considère que la distance longitudinale entre deux orbites successives est d'environ 25° à l'équateur, il en résulte que le fonctionnement du détecteur passif sera gêné par un évènement de brouillage deux fois par jour de la part d'une seule station terrienne, en considérant à la fois les trajets orbitaux ascendants et descendants. Le nombre d'évènements augmente avec la latitude de la station terrienne, car la distance entre les orbites successives décroît avec le cosinus de la latitude. Il est directement proportionnel au nombre de stations terriennes.

Les principales caractéristiques de chaque évènement de brouillage sont les suivantes, dans le cas d'une station terrienne du SFS:

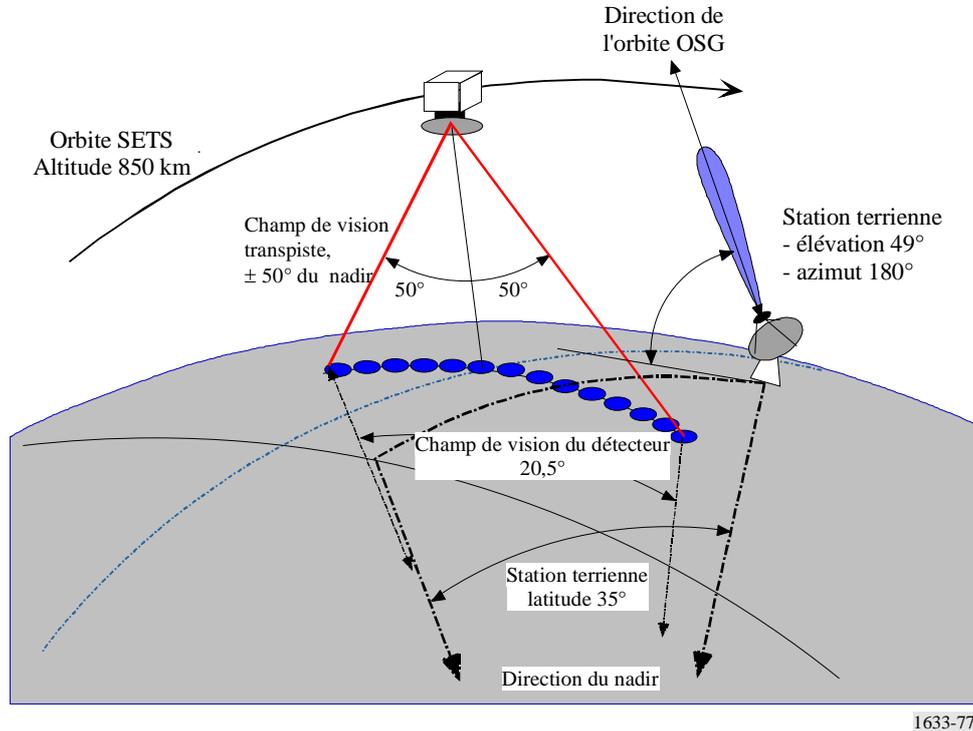
- la durée est d'environ 16 s;
- une zone circulaire de la surface de la Terre d'environ 110 km de diamètre autour de la position de chaque station terrienne est contaminée par des brouillages gênants;
- cette zone de 9 500 km², correspondant à 47 pixels, est à comparer à la zone de service de référence de 2 000 000 km² du détecteur qui est stipulée dans les Recommandations UIT-R SA.1028 et UIT-R SA.1029;
- le critère de non-disponibilité de 0,01% est excédé de beaucoup dans le voisinage des stations terriennes.

Cette configuration est décrite à la Fig. 77.

FIGURE 77

Cas spécifique du détecteur manoeuvre-balais

(Configuration de brouillage de station terrienne SFS/SMS sur un détecteur en peigne)



Les résultats numériques les plus significatifs sont résumés dans le Tableau 117.

TABLEAU 117

Excédent de puissance sur le seuil de brouillage (hypothèse de cofréquence)

Détecteur dans le lobe principal de la station terrienne	Station terrienne du SFS	Station terrienne SMS
Excédent de puissance (dB)	49,1	34,4
Zone autour de la station terrienne (approximativement) (km)	150 × 130	60 × 51
Nombre de pixels/événements contaminés	9 lignes de balayage	4 lignes de balayage
Durée d'un événement (approximativement) (s)	21	8,3
Détecteur proche du zénith de la station terrienne	Station terrienne du SFS	Station terrienne SMS
Faisceau de nadir (dB)	29,5	20,3
Faisceaux hors nadir dans les $\pm 50^\circ$ (dB)	23,3	14,2
Zone autour de la station terrienne (approximativement) (km)	Diamètre 110	Diamètre 41
Nombre de pixels/événements contaminés	47	7
Durée d'un événement (approximativement) (s)	16	6

Noter que les configurations de lobe principal à lobe principal deviennent possibles pour les stations terriennes du SFS/SMS situées près de l'équateur. Dans ce cas, l'excédent de puissance indiqué dans la seconde partie du Tableau 117 est augmenté par la discrimination d'antenne de la station terrienne (jusqu'à 80 dB). La probabilité d'occurrence de telles configurations devra faire l'objet d'études complémentaires.

4.4 Analyse de brouillage dynamique

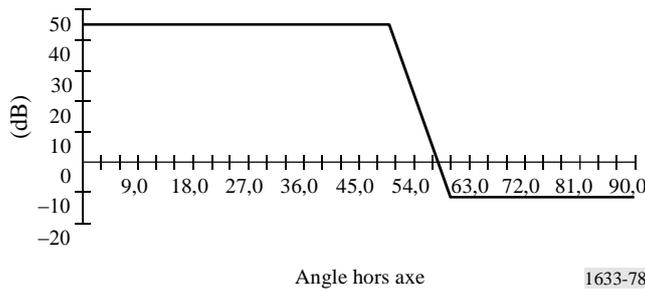
En plus des cas statique et semi-statique ci-dessus, une analyse dynamique est nécessaire afin de prendre en compte le pourcentage du temps pendant lequel intervient le brouillage. Comme indiqué ci-dessus, le seuil de -166 dBW ne doit pas être dépassé pendant plus de 0,01% du temps dans une largeur de bande de 100 MHz.

Des simulations ont été effectuées pour déterminer la probabilité d'un brouillage en utilisant un incrément de temps (échantillon) de 5 s afin d'obtenir des résultats précis. Les simulations sont arrêtées lorsque la fonction de distribution cumulée devient stable. De plus, on a noté que toutes les simulations présentées ci-dessous ne traitent que du satellite sondeur de nadir «en peigne», parce que les cas statique et semi-statique ci-dessus ont montré que c'est le cas le plus défavorable.

4.4.1 Modélisation de l'antenne en peigne

Comme expliqué ci-dessus, l'antenne en peigne est capable de voir une ligne complète de pixels située autour du nadir à ±50° pour l'azimut, et à ±0,55° pour l'élévation. Le gain d'antenne maximum est de 45 dBi, et comme il est habituel pour les antennes de radiomètre, il y a une forte décroissance au niveau du lobe latéral de -12 dBi. La Fig. 78 montre le diagramme d'antenne en fonction de l'angle hors axe d'azimut.

FIGURE 78
Diagramme d'antenne composite en peigne



4.4.2 Calculs dynamiques avec les systèmes SFS OSG

TABLEAU 118

Analyse dynamique entre système SFS OSG et SETS avec une seule station terrienne fonctionnant à N0, E0

Pourcentage de distribution cumulée	4,1	1	0,07	0,01	0,002
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 125 MHz)	-212	-190	-166	-131	-53

Le Tableau 118 montre qu'il est possible de trouver une différence de 113 dB entre le seuil de -166 dBW et la puissance maximum de -53 dBW reçue par le radiomètre. Un tel niveau risque de causer des dommages au détecteur.

TABLEAU 119

**Analyse dynamique entre système SFS OSG et SETS
avec une seule station terrienne fonctionnant à N50, E0**

Pourcentage de distribution cumulée	7,2	1	0,15	0,01	0,004
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 125 MHz)	-212	-186	-166	-131	-126

Selon le Tableau 119, il y a un risque que le satellite SETS rencontre du brouillage lorsqu'une seule station terrienne est en fonctionnement (ou que le pourcentage de données brouillées est au-dessus du seuil acceptable). En tenant compte de la largeur de bande relative, l'affaiblissement spectral requis est de 34 dB pour le SFS OSG. On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus élevé de stations terriennes soient mises en fonction dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans les Tableaux 118 et 119. L'accroissement du nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques va vraisemblablement accroître le pourcentage de temps pendant lequel le critère SETS est dépassé. Dans ce cas, les conclusions tirées au § 4.5 par rapport à l'importance des bandes de garde requises devront être réévaluées.

4.4.3 Calculs dynamiques avec les systèmes SMS OSG

TABLEAU 120

**Analyse dynamique entre système SMS OSG et SETS
avec une seule station terrienne fonctionnant à N0, E0**

Pourcentage de distribution cumulée	3,9	1	0,1	0,05	0,01	0,003
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 11 MHz)	-220	-200	-186	-166	-141	-67

TABLEAU 121

**Analyse dynamique entre système SMS OSG et SETS
avec une seule station terrienne fonctionnant à N50, E0**

Pourcentage de distribution cumulée	7,2	1	0,1	0,06	0,01	0,003
Détecteur en peigne: puissance brouilleuse correspondante reçue par le SETS (dBW) (largeur de bande de 11 MHz)	-220	-194	-172	-166	-141	-136

Selon le Tableau 121, il y a un risque que le satellite SETS rencontre du brouillage lorsqu'une seule station terrienne est en fonctionnement (ou que le pourcentage de données brouillées est au-dessus du seuil acceptable). En tenant compte de la largeur de bande relative, l'affaiblissement spectral requis est de 25 dB pour le service SMS OSG. On s'attend à ce qu'un nombre significativement plus élevé de stations terriennes soient mises en fonction dans les systèmes à satellites pour lesquels les résultats des simulations dynamiques sont rapportés dans les Tableaux 120 et 121. L'accroissement du nombre de stations terriennes incluses dans les simulations dynamiques va vraisemblablement accroître le pourcentage de temps pendant lequel le critère SETS est dépassé. Dans ce cas, les conclusions tirées au § 4.5 par rapport à l'importance des bandes de garde requises devront être réévaluées.

4.5 Application de gabarits hors bande aux émissions de station terrienne du SFS/SMS

En supposant maintenant que les stations terriennes du SFS/SMS émettent dans leur propre bande de fréquences, la suppression de cette puissance au sein de la bande SETS (passive) attribuée adjacente doit être:

- jusqu'à 49 dB pour couvrir le cas où le détecteur passif croise le lobe principal de l'antenne de la station terrienne du SFS;
- jusqu'à 29,5 dB pour couvrir le cas où le détecteur passif est proche du zénith de l'antenne de la station terrienne du SFS;
- jusqu'à 34 dB selon l'analyse dynamique (voir Tableaux 119 et 120).

On voit clairement que le gabarit hors bande décrit dans la Recommandation UIT-R SM.1541 ne donne pas une protection appropriée. Le gabarit en cosinus surélevé proposé par le Groupe de travail 4A est beaucoup plus réaliste. La Fig. 79 représente la puissance tombant dans l'attribution du SETS, en fonction de la bande de garde. Pour couvrir les diverses caractéristiques des émissions SFS, l'intégration glissante est effectuée pour trois valeurs de la bande passive, exprimées en terme de pourcentage de la largeur de bande SFS nécessaire (1 000, 100 et 50%). Il y a seulement une différence mineure entre les trois courbes.

Il faut noter que sur la Fig. 79, le décalage de fréquence est pris à partir du centre de la largeur de bande nécessaire. Cela servira à déterminer la distance minimale entre le centre de la largeur de bande nécessaire et la limite supérieure de la bande attribuée aux services SFS/SMS, qui est nécessaire pour protéger la bande adjacente attribuée au SETS contre les rayonnements non désirés du SFS/SMS.

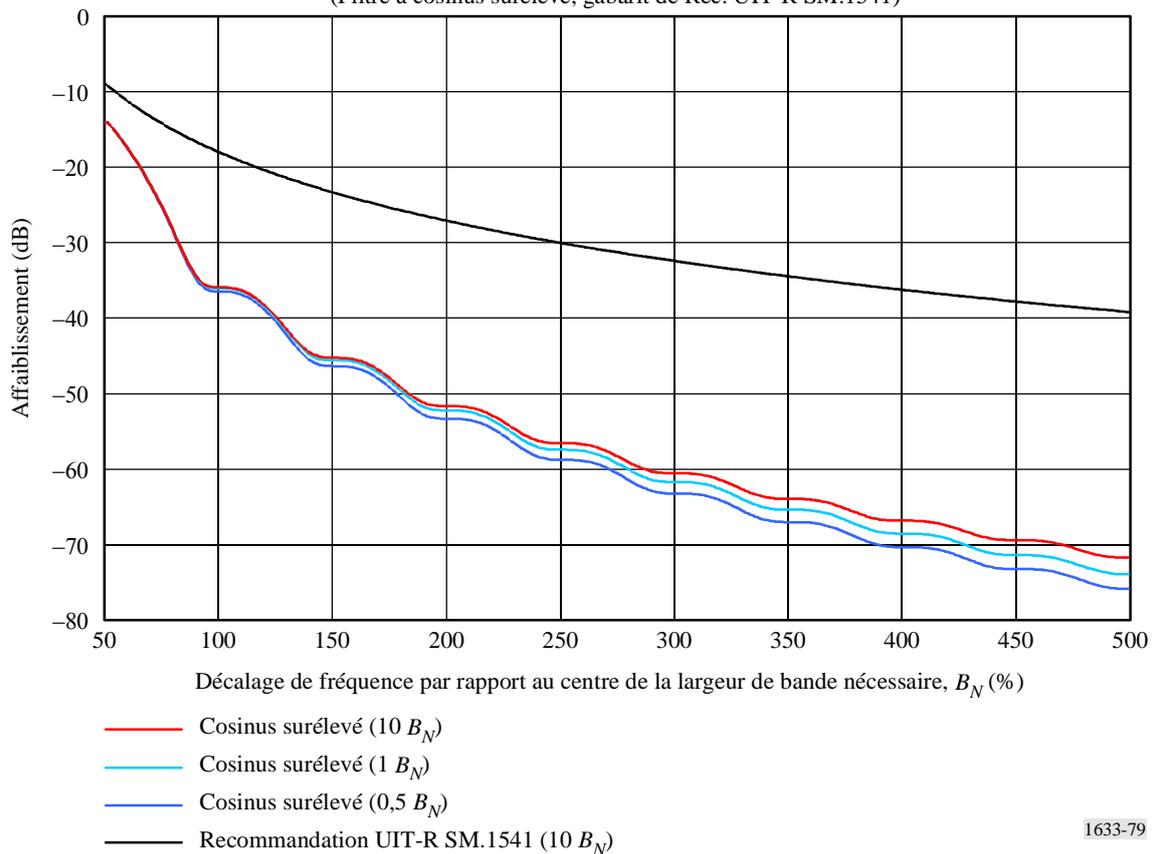
En supposant que ce gabarit soit adopté et qu'il représente de façon fidèle les caractéristiques spectrales réelles des émetteurs SFS, on peut en déduire les conditions suivantes, qui sont résumées dans le Tableau 122 pour les systèmes SFS OSG et SMS OSG. La dernière ligne de ces Tableaux indique la bande de garde supplémentaire au-dessus de la limite inférieure de la bande attribuée au SFS qu'il serait nécessaire d'appliquer pour protéger les détecteurs passifs contre les rayonnements non désirés dans la bande adjacente.

L'analyse dynamique donne une suppression de 34 dB pour le SFS, et une suppression de 25 dB pour le SMS. Donc, les bandes de garde supplémentaires correspondantes qui sont requises sont 50 MHz et 2,3 MHz.

FIGURE 79

Affaiblissement de puissance hors bande contenue dans la largeur de bande du SETS

(Suppression de puissance totale selon le décalage de fréquence)
 (Filtre à cosinus surélevé, gabarit de Rec. UIT-R SM.1541)



1633-79

TABLEAU 122

Résumé des bandes de garde nécessaires pour protéger les détecteurs passifs
 contre les stations terriennes du SFS/SMS OSG

	SFS OSG		SMS OSG	
	Détecteur dans le lobe principal de la station	Détecteur proche du zénith de la station	Détecteur dans le lobe principal de la station	Détecteur proche du zénith de la station
Suppression de puissance (dB)	49	29,5	34,4	20,3
Largeur de bande nécessaire (MHz)	125		11	
Bande passive (% B_N)	160		1 818	
Décalage (% B_N)	181	82	91	67
Décalage (MHz)	226	103	10	7,4
Bande de garde supplémentaire requise (MHz)	164	41	4	1,4

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Ce sujet nécessite des travaux complémentaires.

5.2 SFS et SMS

5.2.1 Mise en oeuvre de bandes de garde

Les résultats de l'analyse (voir le Tableau 122) indiquent que ces bandes de garde seraient nécessaires pour protéger les détecteurs passifs contre les rayonnements non désirés. Les situations les plus critiques sont obtenues avec les émissions impliquant simultanément une p.i.r.e. élevée et une importante largeur de bande nécessaire. Comme la vraisemblance d'un alignement de lobe principal à lobe principal peut être forte dans le cas de stations terriennes du SFS/SMS OSG situées près de l'équateur, il ne semble pas qu'il y ait de taille de décalage de fréquence praticable qui soit possible avec de tels systèmes pour protéger l'attribution passive adjacente.

5.2.2 Puissance et largeur de bande nécessaire

La réduction de la puissance et de la largeur de bande nécessaire pourrait réduire la taille du décalage de fréquence requis.

5.2.3 Filtrage en bande de base

Le niveau des rayonnements non désirés provenant des systèmes du service actifs peut être réduit en utilisant des techniques de modulation et de filtrage efficaces.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS (passive)

L'impact potentiel sur le SETS (passive) ne peut pas être évalué avant que des techniques de réduction des brouillages (§ 5.1) ne soient finalisées.

5.3.2 SFS et SMS

L'impact des techniques de réduction des brouillages sera évalué et révisé au sein de l'UIT-R.

6 Résultats des études

La présente analyse montre que, en général, un détecteur en peigne va recevoir une puissance non désirée considérable, excédant le seuil de brouillage à la fois en magnitude et en durée, deux fois par orbite, à travers un de ses faisceaux d'antenne, lorsqu'il traverse la latitude de toute station terrienne.

Les configurations de cas le plus défavorable impliquant des voies de brouillage à travers le lobe principal de la station terrienne sont les plus préjudiciables parce qu'elles conduisent à la perte d'un certain nombre de lignes de balayage complètes successives du détecteur passif. De plus, la magnitude de l'excédent de puissance au-delà du seuil de brouillage, qui peut atteindre 113 dB, soulève des questions quant à la possibilité de dommages sur les récepteurs du détecteur passif.

Annexe 21

Analyse de compatibilité entre les systèmes du SETS (passive) fonctionnant dans la bande 52,6-52,8 GHz et les systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 51,4-52,6 GHz

1 SETS (passive)

1.1 Bande attribuée

La bande 51,4-52,6 GHz est attribuée au service fixe et cette bande est adjacente à la bande 52,6-52,8 GHz attribuée au SETS. Il est donc nécessaire d'évaluer les effets des rayonnements non désirés provenant des systèmes du service fixe qui tombent dans la bande 52,6-52,8 GHz du SETS. La présente Annexe donne le calcul des niveaux de rayonnements non désirés qui tombent dans la bande 51,4-52,6 GHz pour les systèmes du service fixe fonctionnant au-dessus de 31,8 GHz.

Il faut noter que selon le numéro 5.340 du RR, toutes les émissions sont interdites dans la bande 52,6-54,25 GHz.

Les attributions adjacentes aux bandes passives de 52,6-52,8 GHz sont indiquées dans le Tableau 123.

TABLEAU 123

Attributions dans les bandes adjacentes

Services dans la bande attribuée inférieure	Bande passive	Services dans la bande attribuée supérieure
51,4-52,6 GHz	52,6-54,25 GHz	54,25-55,78 GHz
FIXE MOBILE	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) RECHERCHE SPATIALE (passive)	EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) INTER-SATELLITES 5.556A OSG seulement avec limite de puissance surfacique RECHERCHE SPATIALE (passive)

1.2 Application

Cette bande est une de celles qui sont utilisées pour les sondages atmosphériques proches du nadir en conjonction avec les bandes à 23,8 GHz, 31,5 GHz, 50,3 GHz pour caractériser chaque couche de l'atmosphère.

1.3 Critères de protection requis

Les trois Recommandations suivantes établissent les critères de brouillage pour les détecteurs passifs.

Recommandation UIT-R SA.515 – Bandes de fréquences et largeurs de bande utilisées pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1028 – Critères de qualité de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite.

Recommandation UIT-R SA.1029 – Critères de brouillage dans la télédétection passive par satellite.

1.4 Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques de fonctionnement suivantes sont prises en compte pour le système SETS:

- Le détecteur SETS est supposé avoir une antenne avec un gain de 45 dBi.
- Le détecteur SETS est pointé dans la direction du nadir.
- La taille de pixel pour un détecteur à une altitude de 850 km est de 201 km² (16 km de diamètre).

2 Service fixe

2.1 Bande attribuée

Voir le Tableau 123.

2.2 Application

Conformément au numéro 5.547 du RR, la bande 51,4-52,6 GHz est disponible pour des applications à haut débit dans le service fixe.

Cette bande peut être utilisée à la fois pour des systèmes du service fixe point à point et des systèmes du service fixe P-MP.

2.3 Niveaux fondés sur des documents existants de l'UIT

Les Recommandations suivantes de l'UIT-R donnent des informations sur les rayonnements non désirés des systèmes du service fixe:

- Recommandation UIT-R F.1191 – Largeurs de bande et rayonnements non désirés des systèmes numériques du service fixe.
- Recommandation UIT-R SM.329 – Rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels.
- Recommandation UIT-R SM.1541 – Rayonnements non désirés dans le domaine des émissions hors bande.

2.4 Caractéristiques de l'émetteur

On a utilisé les caractéristiques suivantes, qui sont contenues dans les Tableaux 124 et 125.

TABLEAU 124

Caractéristiques des systèmes point à point (Recommandation UIT-R F.758)

Espacement entre canaux (MHz)	56	3,5
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	50	50
Affaiblissement alimentation/multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Type d'antenne	Parabole/cornet	Parabole/cornet
Puissance maximum de sortie d'émetteur (dBW)	-20	-20
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	30	30

TABLEAU 125

**Caractéristiques des systèmes P-MP
(Recommandation UIT-R F.758)**

Station type	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	28	28
Gain d'antenne (maximum) (dBi)	14	Parabole 41 Planaire 28
Affaiblissement alimentation/multiplexeur (minimum) (dB)	0	0
Azimut/élévation de ouverture de faisceau d'antenne (3 dB) (degrés)	>15	1,2 × 1,2
Puissance maximum de sortie d'émetteur (dBW)	-10	-15
p.i.r.e. (maximum) (dBW)	4	26/13

2.5 Caractéristiques de fonctionnement

La Recommandation UIT-R F.1496 donne des dispositions de canaux pour les systèmes utilisant 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz et 56 MHz d'espacement entre canaux, à déployer dans cette bande.

2.5.1 Caractéristiques de fonctionnement P-P

On se propose d'utiliser en première étape une densité de terminaux d'un par km².*

2.5.2 Caractéristiques de fonctionnement P-MP

On se propose d'utiliser en première étape une densité de terminaux de 0,3 par km².*

Réutilisation de fréquence: Une réutilisation de fréquence de deux est habituelle et est considérée comme un scénario typique. Un facteur de réutilisation de fréquence d'un est à considérer comme une situation de cas le plus défavorable qui survient rarement.

Antenne sectorielle: La largeur typique d'antenne sectorielle est de 90°. Dans certains cas, des antennes sectorielles de 45° sont prévues lorsque de fortes quantités de capacités de trafic doivent être transportées à partir du site d'une station.

Sur la base de ces considérations, un concentrateur d'une cellule P-MP peut typiquement servir deux abonnés sur la même fréquence au sein d'une cellule donnée.

2.6 Puissance d'émission dans la bande

Voir le Tableau 124 et le Tableau 125.

3 Seuil de compatibilité

Le critère de protection du détecteur passif est de -166 dBW dans une largeur de bande de 100 MHz (à ne pas dépasser pendant plus de 0,01% du temps comme stipulé dans la Recommandation UIT-R SA.1029). Le § 2.4 présente un ensemble de caractéristiques des systèmes du service fixe à déployer dans cette bande. Sur la base de ces informations, il est possible de calculer la puissance admise, de la part de chaque système du service fixe, à tomber dans la bande SETS.

* Il faut noter que ces chiffres représentent une approche de cas le plus défavorable et seront affinés pour obtenir un nombre réaliste de systèmes du service fixe dans chacune des bandes considérées.

Le brouillage peut être reçu de plusieurs sources provenant simultanément de plusieurs services. La valeur qui figure dans la Recommandation UIT-R SA.1029 (pour une bande spécifique) est le niveau maximum de brouillage admissible pour le détecteur passif.

La présente Annexe fait l'analyse du brouillage généré par un seul service actif.

Des travaux complémentaires sont nécessaires pour traiter de l'impact de ces services actifs multiples qui fonctionnent au-dessus et au-dessous de la bande passive.

4 Evaluation du brouillage

4.1 Méthode d'évaluation du niveau de brouillage

La première étape de cette approche est de calculer la puissance «acceptable» résultant d'un déploiement de systèmes du service fixe, qui peut tomber dans un pixel SETS.

Puissance agrégée à la Terre dans 100 MHz = critères de protection SETS (dB(W/100 MHz))
– gain SETS + affaiblissement en espace libre.

Il est alors possible de calculer le niveau de rayonnements non désirés par système du service fixe tombant dans la largeur de bande de référence SETS de 100 MHz:

Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz)) = puissance agrégée à la Terre en 100 MHz –
Nombre d'émetteurs (dans un pixel SETS) – gain du service fixe dans la direction du SETS

4.2 Calcul

Pour les systèmes point à point (voir le Tableau 126), on a utilisé la Recommandation UIT-R F.1245 pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de terminaux fonctionnant à la même fréquence est supposée être un terminal par km².

TABLEAU 126

Niveau acceptable de rayonnements non désirés d'un système du service fixe point à point tombant dans la bande SETS

Fréquence (GHz)	52,6	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	–166	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	185,5	
Absorption gazeuse (dB)	3	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	–22,5	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	–42,5	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	56	3,5
Gain d'antenne du service fixe	50	50
Gain du service fixe dans la direction SETS	–13	–13
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	–29,5	–29,5
Densité de systèmes par km ²	1	1
Taille de pixel par km ²	201	201
Nombre d'émetteurs	201	201
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	–52,5	–52,5
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	–32,5	–32,5

Pour les stations terminales point-multipoint (voir le Tableau 127), on a utilisé la Recommandation UIT-R F.1245 pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. Pour les stations centrales P-MP, on a utilisé la Recommandation UIT-R F.1336 pour calculer le gain d'antenne dans la direction du zénith. La densité de sites de station centrale fonctionnant à la même fréquence est supposée être 0,3 terminal par km². Sur le même site, deux stations centrales peuvent utiliser la même fréquence en supposant une antenne sectorielle à 90°. Dans la même cellule, deux stations terminales peuvent donc utiliser la même fréquence.

TABLEAU 127

**Niveau acceptable de rayonnements non désirés d'un système
du service fixe P-MP tombant dans la bande SETS**

Fréquence (GHz)	52,6	
Critères de brouillage (dB(W/100 MHz))	-166	
Altitude (km)	850	
Largeur de bande de référence (MHz)	100	
Gain SETS	45	
Affaiblissement en espace libre	185,5	
Absorption gazeuse	3	
Agrégé à la Terre (dB(W/100 MHz))	-22,5	
Agrégé à la Terre (dB(W/MHz))	-42,5	
<i>Type de station</i>	Centrale	Terminale
Espacement entre canaux (MHz)	28	28
Gain d'antenne du service fixe	14	41
Gain du service fixe dans la direction du SETS	-10,3	-11,3
Puissance cumulée (dB(W/MHz))	-32,2	-31,2
Densité de systèmes par km ²	0,6	0,6
Taille de pixel par km ²	201	201
Nombre d'émetteurs	121	121
Puissance par émetteur (dB(W/MHz))	-53	-52
Puissance par émetteur (dB(W/100 MHz))	-33	-32

4.3 Valeur obtenue

4.3.1 Niveau de rayonnements non désirés fondé sur les Recommandations UIT-R

En première approche, on ne prend en compte que les rayonnements non désirés tombant dans les rayonnements non essentiels (si la bande de garde est plus large que le domaine des émissions hors bande). On utilise alors les niveaux d'affaiblissement fournis dans l'Appendice 3 du RR et dans la Recommandation UIT-R SM.329 pour calculer les niveaux de rayonnements non désirés provenant du service fixe et qui tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels (décalage supérieur à 250% de la largeur de bande nécessaire ou de la séparation de canal par rapport à la fréquence centrale du signal du service fixe). Dans le cas des systèmes du service fixe, l'affaiblissement spécifié dans l'Appendice 3 du RR devrait être, en dBc, le minimum de 70 dBc ou de $(43 + 10 \log (P))$.

Sur la base de cette première approche, pour un système fonctionnant avec une puissance de sortie de -6 dBW et un espacement entre canaux de 56 MHz (voir le Tableau 124), les limites de rayonnements non essentiels pour ce système sont:

$$P \text{ (dBW)} - (43 + P) \quad \text{dB dans une largeur de bande de référence de 1 MHz}$$

Le Tableau 128 donne le niveau de rayonnements non désirés qui peuvent tomber dans une largeur de bande de référence de 100 MHz.

TABLEAU 128

**Calcul du niveau de rayonnements non désirés
qui peut tomber dans une largeur de bande de 100 MHz**

Système du service fixe	Niveau de rayonnements non essentiels par MHz	Niveau de rayonnements non essentiels par 100 MHz
Point à point 56 MHz (Tableau 124)	-43 dBW	-23 dBW
Point à point 3,5 MHz (Tableau 124)	-43 dBW	-23 dBW
P-MP 50 MHz (Tableau 125)	-43 dBW	-23 dBW
P-MP 2,5 MHz (Tableau 125)	-43 dBW	-23 dBW

Cette première approche conduit à la conclusion que même si on ne prend en considération que les seuls rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels, les critères de protection du SETS ne sont pas satisfaits.

4.3.2 Affinage des calculs

4.3.2.1 Affinage des calculs par la méthode décrite dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1

La Recommandation UIT-R SM.1541 donne un gabarit des émissions hors bande dans le cas des systèmes du service fixe. On peut calculer la puissance intégrée au sein de la bande SETS en supposant (voir l'Appendice 1 à l'Annexe 1) que le niveau de rayonnement non essentiel ne dépasse pas la limite à la bordure du domaine des émissions hors bande.

4.3.2.1.1 Cas d'un espacement entre canaux de 3,5, 7 et 14 MHz

Il faut noter que la Recommandation UIT-R F.1496 donne des dispositions de canaux pour les systèmes utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz et 56 MHz, qui doivent être déployés dans cette bande. Ces dispositions de canaux incluent une bande de garde de 40 MHz dans la partie inférieure de la bande du service fixe.

Cela signifie que pour un espacement entre canaux de 3,5, 7 et 14 MHz, le domaine des émissions hors bande (qui s'étend de 50% de l'espacement entre canaux jusqu'à 250% de l'espacement entre canaux par rapport à la fréquence centrale du signal du service fixe) sera inclus dans la bande de garde. Alors, pour les systèmes utilisant un espacement entre canaux de 3,5, 7 et 14 MHz, seuls les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des rayonnements non essentiels doivent être pris en compte.

La Recommandation UIT-R SM.1541 donne un gabarit d'émission hors bande dans le cas des systèmes du service fixe. A la bordure du domaine des émissions hors bande, l'affaiblissement est égal à 40 dBsd. Si on suppose que le niveau de rayonnement non essentiel ne dépasse pas la limite à la bordure du domaine des émissions hors bande, la puissance intégrée au sein de la bande SETS sera:

Pour un espacement entre canaux de 3,5 MHz:

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (3,5) -40 + 10 \log (100) = -35 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

Pour un espacement entre canaux de 7 MHz:

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (7) -40 + 10 \log (100) = -38 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

Pour un espacement entre canaux de 14 MHz:

$$-10 \text{ dBW} -10 \log (14) -40 + 10 \log (100) = -41 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

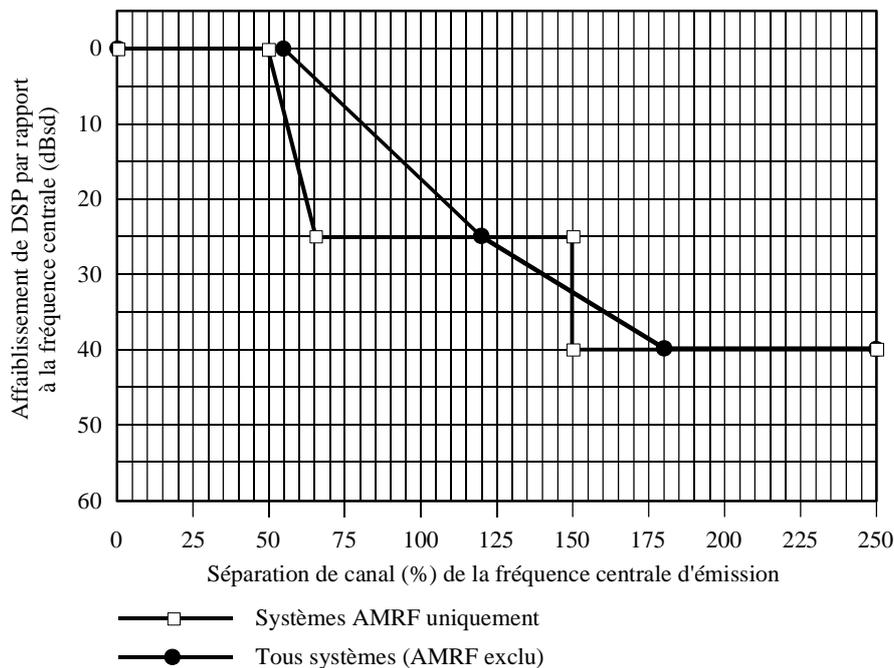
Le critère de protection du SETS sera satisfait dans tous ces cas.

4.3.2.1.2 Cas de l'espacement entre canaux de 28 et 56 MHz

Pour les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des émissions hors bande, on prend en compte les gabarits hors bande donnés dans la Recommandation UIT-R SM.1541.

FIGURE 80

Gabarits de spectre générique pour service fixe numérique au-dessus de 30 MHz
(voir Tableau 129)



Note – Les gabarits spécifiés sont exprimés comme fonction du pourcentage d'espacement entre canaux, mais pour les systèmes fonctionnant dans des bandes de fréquences où n'est établie aucune disposition de canaux radio-fréquence, le pourcentage d'espacement entre canaux devrait être remplacé par le pourcentage de largeur de bande nécessaire ou, si c'est applicable, par le « seuil inférieur de largeur de bande nécessaire » comme défini par la Recommandation UIT-R SM.329. Lorsqu'elle n'est pas spécifiée par ailleurs dans des Recommandations UIT-R, la largeur de bande nécessaire devrait être tirée de la Recommandation UIT-R F.1191

TABLEAU 129

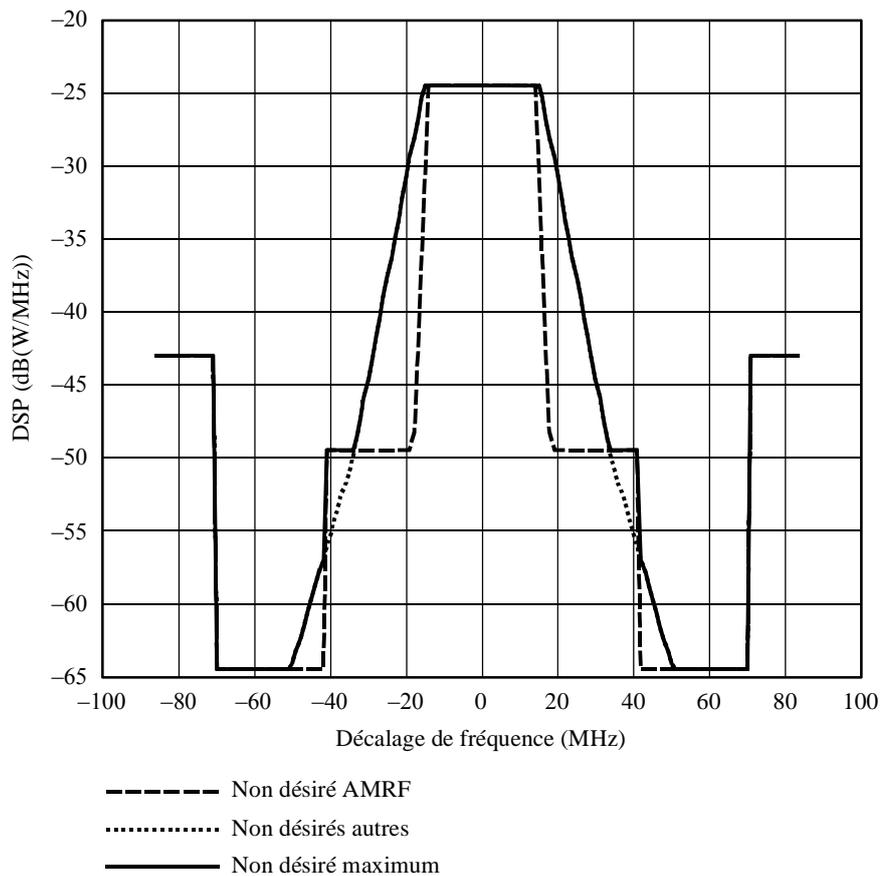
Service fixe numérique fonctionnant au-dessus de 30 MHz
(en référence à la Fig. 81)

Tout système (AMRF exclu)		Systèmes AMRF uniquement	
Décalage de fréquence (% d'espacement entre canaux)	Affaiblissement (dBsd)	Décalage de fréquence (% d'espacement entre canaux)	Affaiblissement (dBsd)
0	0	0	0
55	0	50	0
120	25	65	25
180	40	150	25
250	40	150	40
		250	40

Les gabarits d'émissions hors bande correspondants sont donnés à la Fig. 81.

FIGURE 81

Gabarit d'émission hors bande pour un système d'espacement entre canaux à 28 MHz



Gabarit de rayonnement non désiré (-10 dBW/28 MHz/ $f_c = 52\ 546$ MHz)

Dans l'analyse qui suit, nous considérons l'enveloppe des deux gabarits (hypothèse de cas le plus défavorable).

A nouveau, on peut calculer la puissance tombant dans la bande SETS en supposant que le niveau de rayonnement non essentiel ne dépasse pas la limite à la bordure du domaine des émissions hors bande. Cela donne:

Pour un espacement entre canaux de 28 MHz: $-44,5 \text{ dB(W/100 MHz)}$.

Pour un espacement entre canaux de 56 MHz: $-39,5 \text{ dB(W/100 MHz)}$.

Le critère de protection du SETS est satisfait dans tous ces cas.

4.3.2.2 Affinage du calcul avec les limites de la Recommandation UIT-R SM.1541 et de la Catégorie B (voir la Recommandation UIT-R SM.329)

4.3.2.2.1 Cas de l'espacement entre canaux de 3,5 et 7 MHz

Il faut noter que la Recommandation UIT-R F.1496 donne des dispositions de canaux pour les systèmes utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz et 56 MHz qui doivent être déployés dans cette bande. Ces dispositions de canaux incluent une bande de garde de 40 MHz au sein de la bande du service fixe.

Cela signifie que pour un espacement entre canaux de 3,5 et 7 MHz, le domaine des émissions hors bande (qui s'étend de 50% de l'espacement entre canaux jusqu'à 250% de l'espacement entre canaux par rapport à la fréquence centrale du signal du service fixe) sera inclus dans la bande de garde. Donc, pour les systèmes qui utilisent un espacement entre canaux de 3,5 et 7 MHz, il n'est nécessaire de prendre en compte que les seuls rayonnements non désirés qui tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

La Recommandation UIT-R SM.329 donne des informations sur les niveaux de rayonnements non désirés qui tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels, en particulier, la présente analyse tient compte des niveaux adoptés en Europe et utilisés par quelques autres pays (niveaux de Catégorie B).

Dans le cas de systèmes du service fixe fonctionnant avec un espacement entre canaux inférieur à 10 MHz, il y a une étape à franchir avant d'atteindre cette valeur de -60 dB(W/MHz) . A partir d'un décalage de 2,5 fois l'espacement entre canaux par rapport à la fréquence centrale d'un décalage de 70 MHz, la limite est égale à -50 dB(W/MHz) (ou -60 dBW dans une largeur de bande de référence de 100 kHz).

Dans le cas de systèmes du service fixe fonctionnant avec un espacement entre canaux inférieur à 10 MHz, pour obtenir des résultats plus réalistes, on fait l'hypothèse qu'il y a une décroissance linéaire entre le point à -50 dB(W/MHz) sur le gabarit et le point correspondant au niveau de -60 dB(W/MHz) .

La Fig. 82 donne un exemple de gabarit de rayonnements non désirés pour un système utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz.

On calcule alors la puissance à la bordure de la bande du SETS (52,6 GHz). Cela donne:

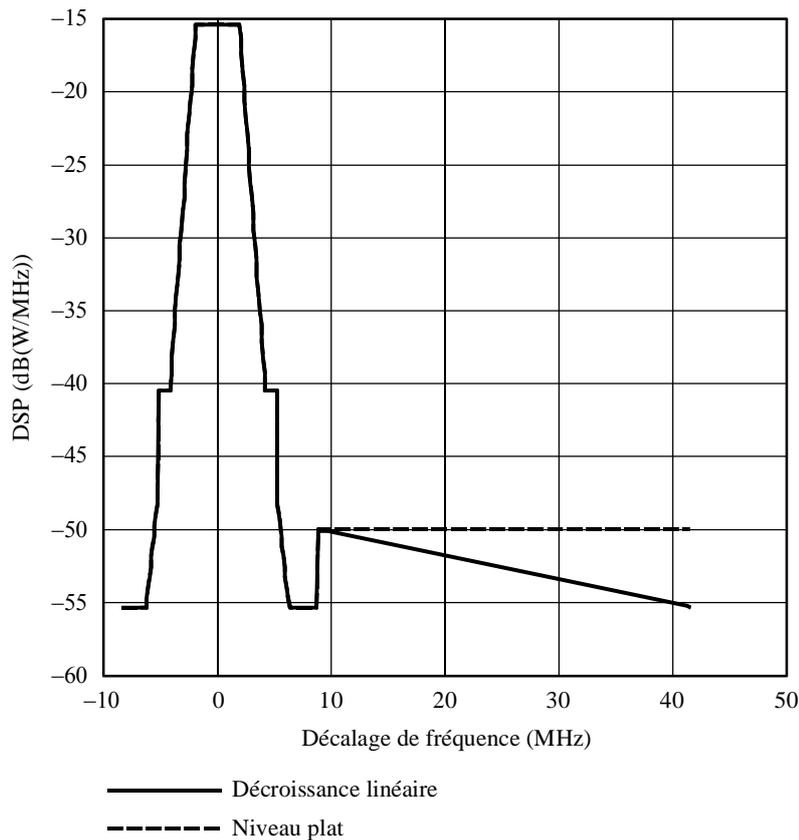
Pour un espacement entre canaux de 3,5 MHz: $-55,5 \text{ dB(W/MHz)}$.

Pour un espacement entre canaux de 7 MHz: $-54,5 \text{ dB(W/MHz)}$.

Ces valeurs sont au-dessous du niveau minimum (-53 dB(W/MHz)) donné aux Tableaux 126 et 127, ce qui signifie que les critères de brouillage du SETS seront satisfaits. Bien sûr, dans la mesure où la puissance brouilleuse devrait être intégrée sur une largeur de bande de référence de 100 MHz, la marge est beaucoup plus large.

FIGURE 82

Niveau de rayonnements non désirés pour un système utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz



Gabarit de rayonnements non désirés ($-10 \text{ dBW}/3,5 \text{ MHz}/f_c = 52 \text{ 558,25 MHz}$)

1633-82

4.3.2.2.2 Cas d'un espacement entre canaux de 14 MHz

Il faut noter que la Recommandation UIT-R F.1496 donne des dispositions de canaux pour les systèmes utilisant un espacement entre canaux de 3,5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 28 MHz et 56 MHz et qui doivent être déployés dans cette bande. Ces dispositions de canaux incluent une bande de garde de 40 MHz au sein de la bande du service fixe.

Cela signifie que pour un espacement entre canaux de 14 MHz, le domaine des émissions hors bande (qui s'étend de 50% de l'espacement entre canaux jusqu'à 250% de l'espacement entre canaux par rapport à la fréquence centrale du signal du service fixe) sera inclus dans la bande de garde. Donc, pour les systèmes qui utilisent un espacement entre canaux de 3,5 et 7 MHz, il n'est nécessaire de prendre en compte que les seuls rayonnements non désirés qui tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels.

La Recommandation UIT-R SM.329 donne des informations sur les niveaux de rayonnements non désirés qui tombent dans le domaine des rayonnements non essentiels, en particulier, la présente analyse tient compte des niveaux adoptés en Europe et utilisés par quelques autres pays (niveaux de Catégorie B).

Pour les systèmes fonctionnant avec un espacement entre canaux supérieur à 10 MHz, la limite des rayonnements non essentiels est de -60 dB(W/MHz) .

Le niveau des rayonnements non désirés tombant dans une largeur de bande de référence de 100 MHz peut être calculé directement:

$$P = -60 \text{ dB(W/MHz)} + 10 \times \log (100 \text{ MHz})$$

$$P = -40 \text{ dB(W/100 MHz)}$$

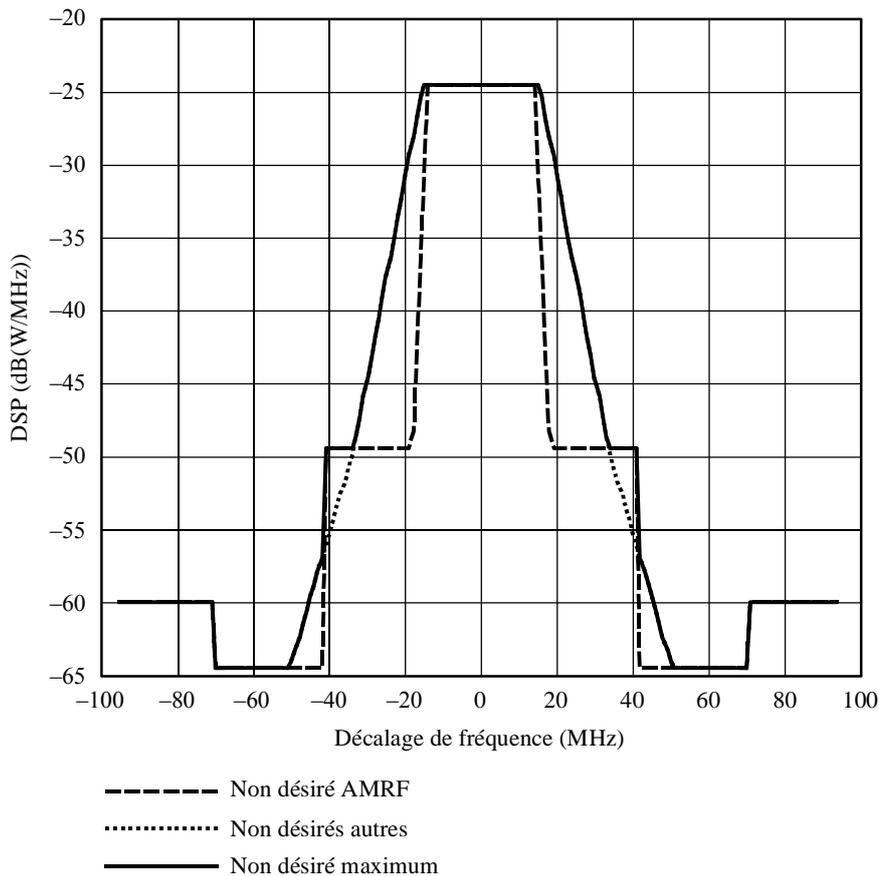
Les critères de brouillage du SETS sont de nouveau satisfaits ($-33 \text{ dB(W/100 MHz)}$).

4.3.2.2.3 Cas de l'espacement entre canaux de 28 MHz

Pour les rayonnements non désirés tombant dans le domaine des émissions hors bande, on a pris en considération les gabarits donnés dans la Recommandation UIT-R SM.1541 (voir la Fig. 80). Les gabarits des émissions hors bande tirés de la Recommandation UIT-R SM.1541 sont fournis à la Fig. 83.

FIGURE 83

Gabarit d'émission hors bande pour un système à espacement entre canaux de 28 MHz



Gabarit de rayonnements non désirés ($-10 \text{ dBW}/28 \text{ MHz}/f_c = 52\,546 \text{ MHz}$)

1633-83

Dans l'analyse qui suit, on considère l'enveloppe des deux gabarits (hypothèse la plus défavorable).

La Recommandation UIT-R SM.329 donne des informations sur les niveaux de rayonnements non essentiels, en particulier, la présente analyse considère les niveaux de Catégorie B. Pour les systèmes fonctionnant avec un espacement entre canaux supérieur à 10 MHz, la limite des rayonnements non essentiels est de -60 dB(W/MHz) .

En utilisant le gabarit hors bande et le niveau des rayonnements non essentiels donné dans la Catégorie B de la Recommandation UIT-R SM.329, il est possible de calculer le niveau des rayonnements non désirés qui peuvent tomber dans la bande 52,6-52,7 GHz. Cela donne, pour un espacement entre canaux de 28 MHz fonctionnant à -10 dBW (valeur maximale donnée par la Recommandation UIT-R F.758) $-40,5$ dBW dans une largeur de bande de référence de 100 MHz. La protection du SETS est assurée.

4.3.2.2.4 Cas de l'espacement entre canaux de 56 MHz

On utilise la même approche que pour le cas précédent. Cela donne pour un espacement entre canaux de 56 MHz fonctionnant à -10 dBW, $-38,7$ dBW dans une largeur de bande de référence de 100 MHz. La protection du SETS est satisfaite.

5 Techniques de réduction des brouillages

5.1 SETS (passive)

Aucune technique de réduction des brouillages n'est nécessaire.

5.2 Service fixe

Il n'est nécessaire de prendre en compte aucune technique de réduction des brouillages supplémentaire dans la conception des systèmes du service fixe.

5.3 Impact potentiel

5.3.1 SETS

Pas d'impact.

5.3.2 SFS

Pas d'impact.

6 Résultats des études

6.1 Résumé

Dans la présente Annexe, on a montré que le niveau des rayonnements non désirés des systèmes du service fixe fonctionnant dans la bande 51,4-52,6 GHz satisfera aux critères de protection du SETS.

6.2 Conclusion

Le niveau de rayonnements non désirés des systèmes du service fixe dans la bande 51,4-52,6 GHz peut satisfaire le critère de -33 dB(W/100 MHz), ce qui assure la compatibilité entre les systèmes SETS et les systèmes du service fixe à 52,6 GHz.
