

RECOMMANDATION UIT-R SM.1542-0*

Protection des services passifs contre les rayonnements non désirés**

(2001)

Domaine d'application

La présente Recommandation sert de base concernant la vulnérabilité des services passifs et les techniques de réduction des brouillages causés aux services passifs par les rayonnements non désirés.

Mots clés

Rayonnements non désirés, réduction des brouillages, service passif, bandes de fréquences, brouillage potentiel

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est souhaitable que les rayonnements non désirés de nouvelles stations de tout service de radiocommunication n'empêchent pas les stations existantes, fonctionnant conformément aux dispositions du Règlement des radiocommunications (RR) dans ces services ou dans d'autres, de fonctionner efficacement;
- b) que, dans certains cas, des services passifs et des services employant des émetteurs de grande puissance ont obtenu des attributions dans des bandes de fréquences adjacentes ou proches l'une de l'autre;
- c) que, dans de nombreux cas, des services passifs et des services spatiaux (espace vers Terre) ont obtenu des attributions dans des bandes de fréquences adjacentes ou proches l'une de l'autre;
- d) que, dans certains cas, des services passifs spatiaux et des services utilisant des stations terriennes de liaison montante ou des stations de Terre à haute densité ont obtenu des attributions dans des bandes de fréquences adjacentes ou proches l'une de l'autre;
- e) que, lorsque ces attributions de fréquences ont été faites, il se peut qu'il n'est pas été tenu compte de la compatibilité entre l'émetteur et le récepteur;
- f) que le RAS, le SETS (passive) et le service de recherche spatiale (passive) reposent sur la réception d'émissions à des niveaux de puissance bien inférieurs à ceux que l'on utilise d'ordinaire dans les autres services de radiocommunications;
- g) que, compte tenu de ces faibles niveaux de puissance reçus, ces services passifs sont en général plus vulnérables aux brouillages émanant des rayonnements non désirés que les autres services;
- h) que plusieurs renvois du RR (par exemple 5.149, 5.340 et 5.372) attirent l'attention sur la protection de ces services passifs, en particulier vis-à-vis des stations spatioportées, aéroportées ou des stations placées sur des plates-formes à haute altitude (HAPS, *high altitude platform stations*),

* 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.

** Le service de radioastronomie (RAS, *radioastronomy service*), le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) et le service de recherche spatiale (passive) sont examinés dans la présente Recommandation.

(pour les stations de radioastronomie) et vis-à-vis des stations terriennes, HAPS et du système fixe à haute densité (HDFS, *high density fixed system*) (pour les services passifs spatiaux);

- j) qu'il existe diverses mesures opérationnelles et techniques de réduction des brouillages que les services passifs et les services actifs peuvent utiliser pour réduire l'impact des brouillages causés aux services passifs;
- k) qu'il peut exister des limites d'ordre pratique et économique à l'applicabilité de ces mesures de réduction des brouillages;
- l) que les limites générales des rayonnements non essentiels peuvent ne pas protéger dans la mesure voulue les services passifs contre les brouillages;
- m) que la Recommandation 66 (Rév.CMR-2000) stipule au point 5 du *recommande que l'UIT-R* «étudie 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 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 oeuvre ou non de ces limites»;
- n) que la Recommandation 66 (Rév.CMR-2000) stipule au point 6 du *recommande que l'UIT-R* «étudie 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 oeuvre ou non de ces limites»;
- o) que le RR prévoit (numéro 29.5) que les emplacements des stations de radioastronomie à protéger et les fréquences d'observations qu'elles utilisent sont notifiés au Bureau des radio-communications conformément au numéro 11.12 du RR,

notant

- a) que les raisons pour lesquelles les services passifs sont plus vulnérables aux brouillages des rayonnements non désirés que les autres services sont expliquées dans l'Annexe 1;
- b) que la Recommandation UIT-R SM.1540 fournit des indications concernant les rayonnements non désirés du domaine des émissions hors bande tombant dans les bandes de fréquences adjacentes attribuées;
- c) qu'il est nécessaire, pour la protection des services passifs, de conclure sans tarder les études menées bande par bande et d'identifier d'autres situations de brouillage dans lesquelles des limites plus rigoureuses que celles qui sont indiquées dans l'Appendice 3 du RR et dans la Recommandation UIT-R SM.1541 s'appliquent aux niveaux des rayonnements non désirés;
- d) qu'il est nécessaire de fixer des niveaux appropriés applicables à ces situations et d'examiner l'incidence sur tous les services concernés de la mise en oeuvre ou non de ces limites,

recommande

- 1** de tenir compte, lors de l'attribution des bandes de fréquences aux services par satellite, de leur proximité aux bandes de fréquences attribuées au RAS, au SETS (passive) et au service de recherche spatiale (passive);
- 2** de tenir compte, au moment de désigner des bandes de fréquences pour des applications de Terre spécifiques comme les stations HAPS ou les systèmes HDFS, de leur proximité aux bandes de fréquences attribuées au RAS, au SETS (passive) et au service de recherche spatiale (passive);
- 3** de faire en sorte, lorsque cela est possible, que les attributions adjacentes aux bandes des services passifs existants soient de nature à réduire au minimum les risques de brouillage;

- 4 de tenir compte de l'utilisation des zones situées autour des stations servant aux observations de radioastronomie dans lesquelles les services actifs sont exclus ou restreints, en vue de réduire au minimum les brouillages dus aux rayonnements non désirés des émetteurs de Terre;
- 5 de tenir compte des techniques de réduction des brouillages décrites dans les Annexes 2 et 3 en tant que mesures appropriées que les services actifs et passifs devraient employer, autant que possible, pour réduire au minimum les brouillages causés aux services passifs par les rayonnements non désirés, compte tenu des contraintes imposées à la conception des systèmes et à l'efficacité de l'exploitation;
- 6 que, les bandes de fréquences des services passifs identifiées dans l'Annexe 4 sont des bandes pour lesquelles des limites de rayonnements non essentiels plus rigoureuses que les limites générales indiquées dans l'Appendice 3 peuvent être utilisées afin de protéger les services passifs;
- 7 que les bandes des services actifs identifiées dans l'Annexe 4, sont des bandes pour lesquelles des limites hors bande peuvent être utilisées afin de protéger les services passifs fonctionnant dans des bandes adjacentes ou à proximité de celles-ci;
- 8 de prendre les mesures ci-après pour réduire au minimum les brouillages pouvant être causés aux services passifs:
- consultation et échange d'informations techniques et opérationnelles entre les parties concernées;
 - coopération sur le choix et la mise en oeuvre des mesures les plus appropriées entre les opérateurs de systèmes passifs et de systèmes actifs;
 - adoption de techniques de gestion appropriées du spectre.

ANNEXE 1

Vulnérabilité des services passifs

Les services passifs sont consacrés exclusivement à l'étude des émissions radioélectriques naturelles. Ces émissions étant extrêmement faibles par rapport aux émissions artificielles, les moyens utilisés actuellement pour les observer sont très sensibles aux brouillages. Dans le cas de la radioastronomie, les sensibilités du récepteur sont les plus élevées possible. Les mesures en radioastronomie, peuvent nécessiter que les largeurs de bande du récepteur soient importantes mais aussi d'intégrer et de corrélérer les signaux pendant des heures ou des jours. Compte tenu de l'extrême sensibilité des récepteurs de radioastronomie et des longs temps d'observation nécessaires, les seuils de brouillage obtenus sont beaucoup plus faibles que pour n'importe quel autre service, si bien qu'il faut assurer une protection particulière et tenir compte de certaines considérations particulières.

De la même façon, les détecteurs passifs spatioportés détectent les très petites variations survenues dans la température de bruit ambiante des phénomènes observés. Toute matière émet et diffuse de l'énergie électromagnétique. Les détecteurs passifs spatioportés mesurent l'énergie électromagnétique que la Terre et ses éléments constitutifs émettent et diffusent dans l'atmosphère. Ainsi, la protection de ces services passifs mérite une mention particulière car les seuils de brouillage surviennent nécessairement à des niveaux de puissance extrêmement faibles.

Les émetteurs aéroportés et spatioportés peuvent constituer des sources de brouillage particulièrement graves pour le RAS. Les liaisons descendantes des services spatiaux, situées à

proximité des bandes de fréquences utilisées par les services passifs, dont le RAS, peuvent causer des brouillages à de nombreuses stations de radioastronomie. De plus, les réflexions à la surface de la Terre en provenance des liaisons descendantes des services spatiaux peuvent aussi causer des brouillages aux détecteurs passifs spatioportés. Les rayonnements non désirés des liaisons montantes des services spatiaux, des liaisons montantes HAPS et des émissions de systèmes HDFS à proximité des bandes de fréquences attribuées au SETS (passive) peuvent causer des brouillages aux détecteurs passifs spatioportés.

1 Télédétection passive par satellite

Les seuils de brouillage applicables à la télédétection passive par satellite dans différentes bandes de fréquences sont indiqués dans la Recommandation UIT-R SA.1029. Les critères de performance de fonctionnement pour la télédétection passive par satellite figurent dans la Recommandation UIT-R SA.1028. Pour la plupart des applications de détection passive, la perte de données admissible est inférieure à 1%. Autrement dit, les niveaux de brouillage indiqués dans la Recommandation UIT-R SA.1029 ne devraient pas être dépassés dans plus de 1% des cellules de mesure (c'est-à-dire des pixels) situées dans la zone d'observation du détecteur. Toutefois, pour les mesures tridimensionnelles de la température atmosphérique ou de la concentration des gaz dans l'atmosphère, les niveaux de brouillage ne devraient pas être dépassés dans plus de 0,01% des cellules de mesure situées dans la zone d'observation du capteur. Les bandes de fréquences qui nécessitent ce degré plus élevé de protection sont les suivantes: 50,2-50,4 GHz (voir toutefois, le numéro 5.340.1 du RR), 52,6-59,3 GHz, 114,25-122,5 GHz et 174,8-191,8 GHz.

2 Radioastronomie

La radioastronomie est la science qui étudie les propriétés des émissions cosmiques. Ces émissions sont en général semblables à du bruit et ne se distinguent pas, par leur nature, du bruit thermique rayonné par la Terre ou par son atmosphère ou du bruit produit dans le récepteur. Les observations radioastronomiques se divisent en deux grandes catégories:

- les observations du continuum, où l'on mesure la densité spectrale de puissance surfacique moyenne ainsi que le degré de polarisation dans la bande attribuée. Ce type d'observation peut exiger que l'on fractionne la bande en canaux qui sont traités ensemble ou indépendamment (par exemple, dans le cas de la formation d'image, de l'interférométrie ou de la réduction des brouillages), mais le résultat final consiste en général en une moyenne des grandeurs observées dans la bande attribuée. Ces observations peuvent être utilisées conjointement avec des mesures effectuées dans d'autres bandes de radioastronomie, en vue d'étudier la structure spectrale à large bande ou les variations de la structure de la source des émissions en fonction de la fréquence d'observation;
- les observations sur les raies spectrales des émissions à bande étroite à partir des transitions dans les molécules cosmiques, les radicaux ou les atomes. Il s'agit d'émissions à bande étroite où l'intensité, la largeur, la structure fine, l'effet Doppler et la polarisation présentent un intérêt du point de vue astrophysique. Pour effectuer ces observations, il faut diviser la bande en de nombreux canaux afin de déduire les propriétés de l'émission des raies spectrales en fonction de la fréquence par rapport à l'émission du bruit de fond à large bande.

L'écart angulaire des sources astronomiques varie entre quelques degrés et des millisecondes d'arc ou moins. Certaines émissions, comme le bruit de fond de rayonnement cosmique, couvrent la totalité du ciel. Il est possible d'utiliser une antenne de grandes dimensions ayant la résolution angulaire nécessaire pour établir une carte suffisamment détaillée de la zone ou de la source d'intérêt. Sinon, on peut utiliser des réseaux d'antennes répartis sur des distances pouvant atteindre

des milliers de kilomètres qui serviront d'interféromètres (les réseaux peuvent même être plus espacés lorsqu'une des antennes ou plus est située dans l'espace). L'établissement de cartes peut nécessiter jusqu'à deux semaines d'observations continues pour l'obtention d'une seule image. Les radiotélescopes actuels peuvent mesurer des densités spectrales de puissance surfacique inférieures à $-290 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$; toutefois, compte tenu des besoins actuels de la recherche, on s'oriente vers l'élaboration de systèmes de radiotélescope pouvant mesurer des densités spectrales de puissance surfacique de l'ordre de $-320 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$.

Les seuils de brouillage pour la protection des observations de radioastronomie sont indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.769. La Recommandation UIT-R RA.517 traite de la protection du RAS contre les émetteurs fonctionnant dans les bandes adjacentes. Enfin, la Recommandation UIT-R RA.611 concerne la protection du RAS contre les rayonnements non essentiels.

La Recommandation UIT-R RA.1513 décrit le pourcentage admissible de perte de données pour les observations de radioastronomie.

ANNEXE 2

Techniques de réduction des brouillages susceptibles d'être utilisées dans l'émetteur

Plusieurs exemples de techniques possibles de réduction des brouillages ont été décrits dans des Recommandations de l'UIT-R, comme la Recommandation UIT-R SM.328, qui peut s'appliquer directement aux catégories énumérées ci-après. Lorsqu'on choisit des méthodes de réduction des brouillages, il convient de tenir compte de toutes les sources et de tous les modes de brouillage causés au service passif pour veiller à ce que leur application soit véritablement avantageuse pour le service passif en question. La mise en oeuvre de techniques de réduction des brouillages peut influencer sur l'efficacité d'exploitation des systèmes concernés ainsi que sur la nature et l'étendue des services d'utilisateur pouvant être assurés dans la bande considérée. La mise en oeuvre de ces solutions peut donc être à l'origine d'obstacles importants tant sur le plan technique que de l'exploitation. Ces facteurs influenceront sur les possibilités d'application pratique des techniques de réduction des brouillages. On peut envisager ces mesures à un stade précoce de la conception des systèmes afin de réduire les brouillages dus aux rayonnements non désirés.

- Mesures pratiques concernant le matériel et le système:
 - architecture de l'émetteur;
 - bandes de garde;
 - filtres de radiofréquences (RF) pour réduire les rayonnements non désirés;
 - conception de l'amplificateur de sortie pour éviter le regain spectral de signaux RF dans les bandes adjacentes, ou l'intermodulation;
 - utilisation de composantes fonctionnant avec des caractéristiques linéaires, dans la mesure du possible;
 - conception du processus de modulation de façon à réduire au minimum les rayonnements non désirés;
 - diagrammes d'antenne.
- Gestion de la charge de trafic.
- Contrôle dynamique de puissance.
- Partage de temps.

– Dans le cas de systèmes multisatellites, gestion des constellations de satellites.

Les télécommunications par satellite assurent des liaisons de télécommunication indispensables dans le monde entier et permettent, notamment, de par leur nature, de mettre en oeuvre des réseaux dans des zones où l'infrastructure est minime, si bien qu'elles constituent un moyen de communication tout à fait indiqué pour bon nombre de pays. La zone étendue qu'elles desservent les rend parfaitement adaptées aux applications de radiodiffusion.

Les nouveaux réseaux à satellite doivent être conçus de façon à ce que les projets soient mis en oeuvre d'une manière rentable, dans les délais voulus et sur une base concurrentielle. De ce fait, il convient de faire preuve de mesure et d'équilibre dans l'application des méthodes de réduction des brouillages décrites ci-après.

1 Systèmes du service fixe par satellite (SFS)

1.1 Filtres RF pour réduire les rayonnements non désirés

Un aspect supplémentaire mérite d'être examiné, à savoir, la suppression des rayonnements non essentiels des émissions qui entraînent la présence d'harmoniques dans les bandes de fréquences attribuées à la radioastronomie. Il conviendrait de tenir compte de cet élément dans la conception des systèmes du SFS. En effet, il se peut que les équipements et moyens d'essai permettant d'y remédier n'existent pas à l'heure actuelle pour certaines fréquences du SFS.

Il convient de noter que l'utilisation de filtres pour protéger de manière appropriée les services passifs peut avoir un effet significatif sur les services par satellite. L'utilisation de spécifications plus strictes du filtre influe sur le temps de propagation de groupe des liaisons par satellite, en particulier pour les débits élevés, entraînant soit une perte de capacité soit la nécessité de prévoir un équipement d'égalisation. Dans certains cas, les prescriptions de filtrage peuvent entraîner l'obligation de disposer d'un matériel supplémentaire pour l'engin spatial, d'où une augmentation du poids de celui-ci, de la consommation d'énergie et, enfin des coûts du projet.

En l'occurrence, pour les satellites qui utilisent des réseaux d'antennes actifs, le filtrage devra être fait élément par élément, ce qui peut influencer sensiblement sur le poids et le coût du satellite. De plus, la contrainte d'espace physique entre les éléments d'un réseau actif peut ne pas permettre l'adjonction de filtres, de sorte qu'il n'est pas toujours possible d'ajouter des filtres aux antennes d'un réseau actif.

Toutefois, un opérateur de réseaux géostationnaires du SFS à 11-14 GHz s'est efforcé de travailler avec des constructeurs de satellites en utilisant un filtrage amélioré, conjointement avec d'autres techniques de réduction de brouillage, en vue de répondre aux spécifications des Tableaux 1 et 2 de la Recommandation UIT-R RA.769 lorsqu'il a spécifié le niveau des rayonnements non désirés. A cet égard, la spécification d'un satellite lancé récemment, qui émet dans la bande de fréquences 10,7-12,75 GHz, correspond aux niveaux de puissance surfacique indiqués dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RA.769 dans toutes les bandes des services passifs entre 1,4 GHz et 31,8 GHz.

1.2 Effet d'écran du terrain

S'agissant des stations terriennes du SFS situées à proximité des détecteurs passifs au sol, il est possible d'utiliser la géographie locale pour obtenir le niveau souhaité de protection. Dans les cas où le terrain local n'offre pas un effet d'écran suffisant, on peut envisager un effet d'écran supplémentaire.

1.3 Antennes à diagramme modelé

Si les emplacements de sites particulièrement sensibles sont connus à l'avance, il est possible de concevoir un diagramme d'antenne du SFS susceptible de réduire au minimum l'incidence sur les sites en question.

2 Systèmes radar

Plusieurs méthodes de réduction des brouillages ont été proposées en vue d'améliorer la compatibilité entre les systèmes radar et les faisceaux hertziens. On peut en général appliquer ces méthodes de réduction des brouillages aux systèmes radar pour diminuer les rayonnements non désirés et, par conséquent, atténuer les brouillages causés aux services passifs. Ces méthodes sont analysées plus avant dans la Recommandation UIT-R F.1097.

2.1 Mesures opérationnelles

2.1.1 Suppression des signaux dans le secteur

La suppression des signaux dans le secteur signifie que le radar est momentanément désactivé quand son faisceau principal pointe dans la direction d'un récepteur brouillé. Cette méthode peut être simple à mettre en oeuvre car les dépenses occasionnées sont minimales ou nulles; il suffit de modifier l'équipement sur les anciens radars ou de recourir à des commandes de logiciel sur les systèmes modernes. Ce système de réduction des brouillages a déjà été appliqué dans certains pays et a permis une coexistence satisfaisante entre les installations du service de radiorepérage et celles du service fixe.

2.1.2 Choix ou ajustement de la fréquence d'émission

Pour certains systèmes radar fixes, on peut éventuellement choisir ou ajuster la fréquence fondamentale de l'émetteur radar dans la bande de fréquences autorisée pour ce radar afin que les rayonnements harmoniques non essentiels ne soient pas reçus par le récepteur brouillé. Il serait possible en particulier de placer l'harmonique du radar dans la bande de garde, entre les demi-bandes supérieure et inférieure attribuées aux faisceaux hertziens dans le plan de fréquences ou complètement à l'extérieur de cette bande. Cette technique a déjà été utilisée dans certains pays et a donné lieu à une coexistence satisfaisante entre les installations du service de radiorepérage et celles du service fixe.

2.2 Remplacement de l'émetteur

On a observé des variations du niveau des rayonnements non essentiels pour les systèmes au sol qui utilisent des magnétrons classiques ou coaxiaux. Ces variations peuvent être imputées à un phénomène de vieillissement qui entraîne:

- des modifications affectant les réseaux de mise en forme des impulsions du modulateur;
- des modifications affectant le courant et la tension des plaques du tube de puissance; ou
- un amorçage d'arcs dans le tube.

Les utilisateurs d'un radar au sol devront peut-être vérifier périodiquement l'émetteur radar pour déterminer si, à cause de son vieillissement, des composantes non essentielles qui étaient de faible niveau ou absentes lorsque le dispositif était neuf ne sont pas apparues. Dans certains cas, les problèmes de brouillage ont été résolus par le remplacement du dispositif de sortie de l'émetteur radar.

2.3 Installation d'un filtre RF dans l'émetteur radar

Dans plusieurs cas, des filtres RF à guide d'ondes sont utilisés en vue de ramener à un niveau bas et acceptable les brouillages subis par les faisceaux hertziens. Ainsi, des filtres RF passe-bas atténuateurs ont été employés dans les radars au sol fixes exploités à 1,3 GHz afin d'atténuer les brouillages occasionnés par le rayonnement harmonique de troisième ordre dans la bande des 4 GHz attribuée au service fixe. De même, les radars au sol exploités à 5 GHz étaient équipés de filtres passe-bande/passe-bas destinés à supprimer les rayonnements non essentiels brouillant la partie inférieure et la partie supérieure de la bande des 6 GHz exploitée par le service fixe. Ces filtres ont été élaborés par l'industrie du radar en vue de supprimer les rayonnements non essentiels d'environ 40 à 50 dB avec un affaiblissement d'insertion de quelques dizaines de dB à la fréquence de fonctionnement fondamentale du radar. Ils ne réduisent que de peu les performances du radar (portée). Lorsque le brouillage des faisceaux hertziens numériques est causé par des rayonnements non essentiels des radars, l'installation d'un filtre RF dans l'émetteur radar peut fournir une solution appropriée.

3 Systèmes du service de radiodiffusion par satellite (SRS)

Une partie des considérations exposées au § 1 ci-dessus (systèmes du SFS) s'applique également au SRS, à savoir, le filtrage RF et le modelage des faisceaux de l'antenne.

Par exemple, l'application d'une technique de filtre de pointe à un système du SRS devant fonctionner dans la bande 21,4-22 GHz, se traduit par un affaiblissement d'au moins 19 dB à des décalages de fréquence de 210 MHz ou plus par rapport à la limite de la bande, permettant ainsi de réduire le niveau de densité spectrale de puissance surfacique parasite prévue au sol à $-199 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour les émissions à bande étroite dans toute la bande de fréquences 22,21-22,5 GHz et à $-145 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour les émissions à large bande composite dans la même bande de fréquences.

4 Systèmes du service mobile par satellite (SMS)

Une partie des considérations exposées au § 1 s'applique aussi aux liaisons descendantes du SMS. On a analysé l'incidence d'une liaison descendante proposée du SMS dans la bande de fréquences 405-406 MHz, pour les futurs systèmes non géostationnaires, sur les services primaires bénéficiant d'attribution dans la partie supérieure de la bande adjacente (406-406,1 MHz: système COSPAS-SARSAT et 406,1-410 MHz: RAS). La principale conclusion de cette étude préliminaire est la suivante: il faut prévoir au minimum une portion de 106 kHz, bande de garde à utiliser comme porteuse par les futurs satellites sur orbite terrestre basse du SMS dans la bande 405-406 MHz entre la fréquence supérieure et la fréquence inférieure de la largeur de bande COSPAS-SARSAT, c'est-à-dire 406 MHz, afin de ne pas causer de brouillages préjudiciables au système COSPAS-SARSAT et au RAS.

5 Systèmes HAPS

Les bandes 47,2-47,5 GHz et 47,9-48,2 GHz (voir le numéro 5.552A du RR) sont destinées à l'utilisation par des systèmes HAPS et se trouvent à proximité de la bande de raies spectrales du RAS à 48,9-49,0 GHz (voir le numéro 5.149 du RR) ainsi que de la bande de fréquences 50,2-50,4 GHz attribuée au SETS (passive) et au service de recherche spatiale (passive) (voir le numéro 5.340 du RR).

La Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a adopté le renvoi 5.543A du RR qui a également désigné la bande 31,0-31,3 GHz aux fins d'utilisation par les

systèmes HAPS dans certains pays, essentiellement de la Région 3. La bande adjacente 31,3-31,5 GHz est essentiellement une bande pour les services passifs.

Parmi les mesures importantes à prendre contre les brouillages causés par les stations aéroportées HAPS, il y a lieu de citer l'espacement géographique, la puissance et la décroissance spectrale de l'émetteur HAPS ainsi que le gain de l'antenne HAPS dirigée vers les sites du RAS, pour ne citer que ces paramètres.

Parmi les mesures importantes à prendre contre les brouillages causés par les stations au sol HAPS, il y a lieu de citer l'espacement géographique, la puissance et la décroissance spectrale de l'émetteur de la station au sol HAPS ainsi que le gain de l'antenne de la station au sol HAPS dirigée vers les sites du RAS ou les détecteurs passifs du SETS (passive).

Le service fixe utilisant les systèmes HAPS constitue un cas particulier de service fixe et pourrait être pris en considération dans les études bande par bande menées dans le cadre de l'Annexe 4. Il ressort des études préliminaires effectuées dans la bande 31,0-31,3 GHz qu'il faut peut-être disposer d'une faible densité de p.i.r.e. conjointement avec des bandes de garde et des décroissances spectrales strictes pour réduire à un niveau acceptable les brouillages causés aux détecteurs passifs.

6 Applications des HDFS du service fixe

Les HDFS sont censés être des systèmes simples et peu coûteux du service fixe qui seront mis en oeuvre sur une large échelle. Ils présentent essentiellement les caractéristiques suivantes:

- transmission sur une courte distance;
- densité d'émetteurs plus forte et en évolution par rapport aux systèmes normaux du service fixe;
- pas d'obligation d'utiliser des types d'antennes hautement directives et émission limitée des lobes arrières;
- possibilité d'émission avec des angles d'élévation plus élevés par rapport aux systèmes normaux du service fixe;
- possibilité de configuration point à multipoint;
- possibilité de répartition des équipements de coût modique et à basse performance se prêtant à une mise en oeuvre ubiquiste.

Compte tenu des caractéristiques précitées, ces systèmes risquent plus que les systèmes classiques du service fixe de causer des brouillages aux systèmes du SETS (passive) ou à ceux du RAS.

Conformément au renvoi 5.547 du RR les bandes 31,8-33,4 GHz, 37-40 GHz, 40,5-43,5 GHz, 51,4-52,6 GHz, 55,78-59 GHz et 64-66 GHz sont disponibles pour les HDFS. Certaines de ces bandes chevauchent les bandes utilisées par les services passifs ou sont situées à proximité de celles-ci. Toutes les bandes dans lesquelles il existe des chevauchements ont été analysées avant leur affectation et les critères de partage ont été définis.

S'agissant des bandes adjacentes aux bandes des services passifs ou situées à proximité de celles-ci, il est nécessaire d'analyser les effets des rayonnements non désirés. En particulier, il faut évaluer les effets des rayonnements non désirés des HDFS dans la bande 31,3-31,8 GHz sur le RAS et sur le SETS (passive) fonctionnant dans la bande adjacente strictement réservée aux services passifs (31,3-31,5 GHz). Quant aux effets produits par les rayonnements non désirés des HDFS dans la bande 51,4-52,6 GHz sur le SETS (passive) fonctionnant dans la bande 50,2-50,4 GHz, ils ont été étudiés et des conclusions positives ont été tirées au sujet de la compatibilité.

ANNEXE 3

Techniques de réduction des brouillages susceptibles d'être utilisées par les services passifs

L'application de techniques appropriées de réduction des brouillages peut améliorer sensiblement la capacité des services passifs à fonctionner dans un environnement où la présence de services actifs est de plus en plus importante. Toutefois, la mise en oeuvre de ces techniques peut aussi influencer sur l'efficacité d'exploitation des systèmes concernés ainsi que sur la nature et l'étendue des activités pouvant être assurées dans la bande considérée.

Les spécifications d'exploitation applicables aux observatoires de radioastronomie fixent des limites à la réduction possible de l'efficacité globale des moyens utilisés.

On trouvera ci-après des exemples de méthodes de réduction des brouillages susceptibles d'être utilisées par les services passifs. Certaines d'entre elles sont déjà mises en oeuvre alors que d'autres sont à l'étude.

1 Détecteurs passifs spatioportés**1.1 Architecture du récepteur**

Dans certains cas, on peut ajuster les caractéristiques du récepteur pour réduire les rayonnements non désirés. Or, dans le cas de la télédétection passive par satellite dont traite la Recommandation UIT-R SA.1029, le récepteur du détecteur est le radiomètre, qui sert à mesurer une faible variation de la température de bruit pour décrire une condition atmosphérique ou climatique. Par conséquent, toute variation de la sensibilité du récepteur a un effet négatif sur la résolution du détecteur et sur l'utilité des données de celui-ci.

1.2 Filtrage analogique à l'étage RF ou à l'étage de la fréquence intermédiaire (FI)

On utilise essentiellement cette technique pour assurer la protection contre les rayonnements situés en dehors des bandes qu'utilisent les services passifs.

1.3 Diagrammes d'antenne

Les diagrammes d'antenne servant à la télédétection passive par satellite sont, par nature, très directionnels. Dans certains cas, l'utilisation d'un diagramme d'antenne à effet plus directif pour les détecteurs passifs par satellite pourrait éventuellement réduire certains rayonnements non désirés si la réduction concomitante de la taille des pixels du détecteur est acceptable pour l'application en question.

Dans les rares cas où le nombre de sources de brouillage est limité et où leur emplacement est connu, il pourrait être possible, à l'avenir, de réduire les niveaux de brouillage en recourant à des antennes de réseau à éléments en phase non orientables. Il convient de noter que cette technologie n'est pas utilisée actuellement par les détecteurs passifs spatioportés en raison de sa complexité et qu'elle ne se prête pas à bon nombre d'applications du SETS (passive).

1.4 Techniques d'éradication des brouillages

Il convient de poursuivre l'étude de ces techniques pour mieux comprendre leur éventuelle applicabilité.

1.5 Annulation adaptative numérique des brouillages

Il convient de poursuivre l'étude de cette technique pour mieux comprendre son éventuelle applicabilité.

1.6 Ajustement des niveaux de sensibilité

Cette technique serait analogue à l'ajustement des caractéristiques du récepteur (voir le § 1.1 ci-dessus).

1.7 Partage de temps

Pour de nombreuses applications de télédétection par satellite, le partage de temps pourrait s'avérer difficile car il se peut que les pixels perdus ne puissent être récupérés que dans une orbite ultérieure. Toutefois, cette technique exige un complément d'étude.

1.8 Effet d'écran dans le foyer principal des antennes de réception paraboliques

Cette technique ne semble pas pouvoir s'appliquer aux télédéTECTEURS à bord de satellites qui mesurent les très faibles variations de la température de bruit observées et qui utilisent des antennes très directives.

1.9 Utilisation de la géométrie orbitale

L'utilisation de la géométrie orbitale peut réduire au minimum les brouillages reçus: par exemple, en prenant des mesures uniquement lorsque le détecteur passif spatioporté s'éloigne de l'équateur, les réflexions émanant des liaisons descendantes des satellites géostationnaires pourraient s'en trouver limitées.

2 Récepteurs en radioastronomie

2.1 Effet d'écran du terrain et choix de l'emplacement

Pour les radiotélescopes de taille relativement compacte, l'effet d'écran du terrain peut permettre de supprimer les brouillages causés par les émetteurs au sol. Cette technique a d'ailleurs été appliquée avec succès pour certains télescopes. Elle n'est pas applicable en revanche dans le cas des télescopes constitués de réseaux d'antennes multiples, disséminés sur une grande surface, en raison des dimensions spatiales étendues, de la nécessité de réaliser des observations à des angles d'élévation faible et enfin, du coût occasionné.

Dans le choix des nouveaux emplacements pour les détecteurs passifs on peut tenir compte de la répartition mondiale de l'occupation du spectre de Terre et de la répartition des empreintes de service des systèmes à satellites.

2.2 Zones de silence et zones de coordination

L'établissement, par les administrations, d'une zone de silence autour d'une station de radioastronomie peut empêcher toutes les émissions dans cette zone.

L'établissement, par les administrations, d'une zone de coordination autour d'une station de radioastronomie et à l'extérieur d'une zone de silence peut faciliter la protection de la station de radioastronomie par rapport aux services d'émission existants ou nouveaux. Les zones de coordination sont analysées plus avant dans la Recommandation UIT-R RA.1031.

2.3 Architecture du récepteur

S'agissant du brouillage à l'intérieur de la bande causé aux systèmes des radiotélescopes, il n'est pas facile d'adapter les paramètres qui permettent de déterminer les caractéristiques du récepteur en vue de réduire au minimum les effets du brouillage. En effet, les récepteurs utilisés en radioastronomie sont optimisés pour des rapports signal/bruit très faibles car les signaux astronomiques instantanés sont généralement beaucoup plus faibles que les niveaux de bruit du système. Dans la plupart des cas, il suffit d'appliquer des techniques de suppression des brouillages à l'intérieur de la bande dans les récepteurs pour que le bruit du système augmente dans des proportions inacceptables. Néanmoins, on étudie actuellement des techniques visant à supprimer les brouillages à l'intérieur de la bande: il y a lieu de citer à cet égard les systèmes de couplage vers l'avant ou les systèmes d'annulation des brouillages, par exemple. Les paramètres pertinents de la conception sont la linéarité et le bruit du système.

Les brouillages à l'extérieur des bandes de radioastronomie peuvent être supprimés, dans une certaine mesure, dans le système du récepteur de radioastronomie, moyennant le filtrage et l'optimisation du circuit mélangeur du récepteur. Les brouilleurs de forte intensité situés à proximité des bandes de radioastronomie sont difficiles à supprimer à l'aide du filtrage qui doit normalement être réalisé dans les premiers étages du récepteur, où l'affaiblissement est fortement limité par le bruit du système.

2.4 Diagrammes d'antenne

La plupart des radiotélescopes paraboliques sont conçus de telle façon qu'il existe une adéquation optimale entre le niveau des lobes latéraux et l'illumination du réflecteur. Dans la plupart des modèles de télescope parabolique, toute réduction du niveau des lobes latéraux par des modifications d'ordre mécanique, comme l'occultation du réflecteur primaire ou du coffret du récepteur, entraîne immédiatement une diminution des propriétés d'illumination du réflecteur, si bien que de telles modifications sont dépourvues d'intérêt. Il suffit d'augmenter la surface du réflecteur parabolique pour diminuer à la fois les niveaux des lobes latéraux et accroître la sensibilité. Or, cela ne peut être réalisé sans un remaniement mécanique majeur et un coût extrêmement élevé. En général, la plupart des télescopes paraboliques sont déjà optimisés pour un rapport sensibilité/lobes latéraux. La seule occultation pratique supplémentaire qu'il est possible d'appliquer dans le cas des systèmes de radiotélescopes compacts est l'effet d'écran par rapport aux émetteurs au sol.

Pour les récepteurs de type réseau à éléments en phase, il faut distinguer le niveau d'élément d'antenne unique des niveaux où les éléments forment un réseau en phase. Les deux niveaux nécessitent l'application d'une méthode différente de suppression des brouillages. Ainsi, l'élément d'antenne unique, avec son système RF, est comparable au système de récepteur classique et doit être traité de la même manière. Pour le niveau correspondant au réseau à éléments en phase, le nouveau paramètre à utiliser pour la suppression des brouillages est la mise en forme du faisceau qui peut être déformé de telle façon (moyennant l'adaptation des pondérations complexes de l'élément d'antenne) que les zéros présents dans la mise en forme du faisceau peuvent être orientés vers la source de brouillage avec pour effet de la supprimer. Ce procédé est largement utilisé dans les techniques radar et pourrait trouver une application dans la radioastronomie fondée sur l'utilisation d'antennes de type réseau à éléments en phase, encore que de nombreux travaux de recherche restent nécessaires. Parmi les problèmes à résoudre, il y a lieu de citer par exemple l'étalonnage d'un faisceau à variation rapide et le maintien d'un important réseau à éléments en phase qui soit à la fois linéaire et d'un coût abordable.

2.5 Filtrage analogique aux étages RF ou FI

Cette technique est utile uniquement pour le brouillage qui ne se trouve pas dans les bandes de la radioastronomie. De nos jours, les entrées de récepteur utilisées dans les observatoires de radioastronomie sont en général pourvues d'amplificateurs à transistors à mobilité électronique élevée (TMEE) refroidis qui sont intrinsèquement à large bande. La bande passante du premier étage de

l'amplificateur diminue légèrement en dehors du bord de la largeur de bande désignée. Si de puissants émetteurs sont suffisamment proches du sens d'observation pour causer une non-linéarité du système de réception, il peut s'avérer nécessaire de procéder à un filtrage avant le premier étage de l'amplificateur, à l'entrée du récepteur. Toutefois, il ne s'agit pas là d'une option préférée car elle aurait pour effet de dégrader la sensibilité du système.

Pour certaines fréquences considérées, la technologie du filtrage n'est pas suffisamment bien développée. L'application de filtres supraconducteurs à haute température (HTSC, *high temperature super-conducting filters*) pourrait offrir une solution. Des filtres de démonstration HTSC ont été utilisés avec succès mais il faut poursuivre les recherches pour réaliser des filtres HTSC susceptibles d'être utilisés dans la pratique en radioastronomie.

2.6 Techniques d'éradication des brouillages

La communauté des radioastronomes étudie actuellement plusieurs techniques d'éradication des brouillages. On sait déjà qu'aucune technique à elle seule ne peut offrir une solution générale pour réaliser des observations radioastronomiques dans tous les environnements de brouillage hostiles. Pour les environnements de brouillage complexes il faudra combiner plusieurs types de techniques de réduction des brouillages. D'une manière générale, on peut identifier les techniques suivantes d'éradication des brouillages:

- éradication au niveau du signal de bande de base/numérique:
 - déclenchement/suppression;
 - filtrage d'un seul canal (filtre classique, transformée de l'ondelette);
 - pour les réseaux à éléments en phase: techniques d'annulation, de déclenchement et de projection (spatiales-spectrales-temporelles);
 - filtrage adaptatif/réduction des rayonnements dans les lobes latéraux;
 - partage de temps;
- éradication au niveau du post-traitement:
 - élimination des brouillages par suppression/déclenchement;
 - élimination des brouillages sur les cartes à l'aide d'algorithmes de type mathématique.

Des programmes de recherche sur ces questions ont été lancés. On espère obtenir prochainement des estimations sur des niveaux réalistes de réduction des brouillages.

2.7 Annulation adaptative numérique des brouillages

On peut appliquer la technique d'annulation des brouillages pour supprimer l'effet de ceux-ci. L'utilisation d'une antenne équidirective ou directive pointée en direction d'un brouilleur connu permet d'obtenir un signal d'erreur. En corrélant ce signal on peut mettre au point un système d'annulation adaptative pour soustraire le brouillage du signal.

2.8 Ajustement des niveaux de sensibilité

En règle générale, les signaux radioastronomiques qui présentent de l'intérêt ont des niveaux sensiblement plus élevés que les niveaux de puissance de bruit instantané du récepteur. Comme les récepteurs sont déjà conçus de façon à présenter le plus faible niveau possible de bruit, il est inutile d'ajuster le niveau de sensibilité pour supprimer les brouillages.

2.9 Les solutions à envisager exigent une coopération

Puisqu'un nombre plus important de services sont exploités dans un spectre déjà encombré et que des problèmes se posent lorsque des services, pour une large part incompatibles, bénéficient d'attributions dans des bandes adjacentes, il y a des chances pour que les règles générales et les techniques de réduction des brouillages appliquées uniformément dans la totalité du spectre soient inopérantes. Il sera peut-être nécessaire que les services dans lesquels il existe des problèmes de brouillages mutuels coopèrent en vue de rechercher, d'élaborer et de mettre en oeuvre des mesures appropriées de réduction des brouillages. Cette collaboration devrait commencer au niveau de la conception du système. Lorsqu'il est établi que les problèmes de brouillage sont inévitables, il pourrait être conseillé d'envisager un partage du temps, une répartition collective ou encore des procédures pour tenir compte des niveaux de brouillage variant dans le temps.

Le partage du temps fondé sur des blocs horaires journaliers peut en principe s'appliquer parfois dans certaines bandes, à condition que le problème de gestion des questions de partage du temps puisse être résolu. En raison de la régularité ou de l'irrégularité de certains phénomènes astronomiques, il convient de faire preuve de souplesse dans l'attribution des blocs horaires pour la radioastronomie. Le partage avec des services qui ont besoin de blocs horaires fixes et constants n'est donc généralement pas possible. Le partage de temps fondé sur des opérations d'accès multiple par répartition dans le temps exprimé en minutes ou en unités inférieures n'est pas facile à mettre en oeuvre en raison des longs temps d'intégration qui caractérisent les récepteurs radioélectriques et les dispositifs de sortie actuels.

Si l'échelle de temps de la variation de la source astronomique est plus petite que celle de la procédure de partage, le partage de temps n'est pas réalisable.

2.10 Bandes de garde

On peut utiliser des bandes de garde dans le récepteur passif pour éviter que des brouillages préjudiciables dus à des signaux de forte intensité ne soient transmis dans une bande adjacente. L'utilisation de bandes de garde dans les bandes de fréquences attribuées aux services passifs contribuera en général à réduire la largeur de bande d'observation utilisée et le rapport signal/bruit des données s'en trouvera réduit.

ANNEXE 4

Liste de paires de bandes pour émetteurs/services passifs qui posent le plus de problèmes et études bande par bande

Le nombre de cas éventuels de brouillages dus à des rayonnements non désirés causés par des services actifs à des bandes utilisées par les services passifs peut être très élevé, notamment si l'on tient également compte des brouillages dans les bandes non adjacentes. Le Tableau 1 fournit une liste partielle de ces bandes et de ces cas, identifiés par les services passifs, dans lesquels des limites des rayonnements non essentiels plus rigoureuses que les limites générales indiquées dans l'Appendice 3 du RR peuvent être requises et dans lesquels les émetteurs actifs doivent peut-être limiter les émissions hors bande.

Il convient de noter que le Tableau 1 ne concerne que les cas de brouillage existant au-dessous de 71 GHz. La CMR-2000 a ajouté au Tableau d'attribution des bandes de fréquences un certain nombre de bandes supérieures à 71 GHz dans lesquelles fonctionnent les services passifs. L'identification des cas possibles de brouillage aux fréquences supérieures à 71 GHz est en cours.

Une liste plus complète des cas de brouillage est également examinée dans le cadre de l'étude bande par bande qui doit être effectuée conformément aux dispositions de la Recommandation 66 (Rév.CMR-2000).

TABLEAU 1

Bande utilisée par le service passif	Attribution susceptible d'avoir une influence sur le service actif	Observations
1 400-1 427 MHz (RAS)	1 452-1 492 MHz (SRS)↓	Aucune limite de puissance surfacique imposée à l'attribution au SRS (son); numéro 5.340 du RR
1 400-1 427 MHz (SETS, RAS)	1 350-1 400 MHz (Radiolocalisation)	Numéro 5.149 du RR
1 610,6-1 613,8 MHz (RAS)	1 559-1 610 MHz (SRNS)↓	Il existe actuellement un problème de brouillage avec le RAS; numéro 5.149 du RR
1 610,6-1 613,8 MHz (RAS)	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS)↓	Il existe actuellement un problème de brouillage avec le RAS; numéro 5.149 du RR
2 690-2 700 MHz (RAS)	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS)↓	Pas de limite de puissance surfacique imposée au SRS (son); numéro 5.340 du RR
10,6-10,7 GHz (SETS, RAS)	10,7-11,7 GHz (SFS)↓	Risque de problèmes avec des systèmes en cours d'élaboration dans le SFS; numéro 5.340 du RR
21,2-21,4 GHz (SETS)	20,2-21,2 GHz (SMS, SFS)↓	Numéro 5.524 du RR
22,21-22,5 GHz (RAS)	21,4-22 GHz (SRS)↓	Seuils de coordination imposés uniquement au SRS (Résolution 525 (CMR-92)); numéro 5.149 du RR
23,6-24 GHz (SETS)	22,55-23,55 GHz (SIS)	Le SIS est utilisé par des satellites sur orbite terrestre basse; le couplage faisceau principal-faisceau principal est possible
31,3-31,5 GHz (SETS)	30-31 GHz (SFS, SMS)↑	Risque de problèmes dus au couplage du faisceau principal
31,3-31,5 GHz (RAS, SETS)	31,0-31,3 GHz (service fixe)	Résolution 122 (Rév. CMR-2000)
31,5-31,8 GHz (RAS, SETS)	31,8-33,4 GHz (service fixe, SRN)	Résolution 75 (CMR-2000)
42,5-43,5 GHz (RAS)	40,5-42,5 GHz (SRS, SFS)↓	Résolution 128 (Rév. CMR-2000); Résolution 79 (CMR-2000)
50,2-50,4 GHz (SETS)	47,2-50,2 GHz (SFS)↑	Risque de problèmes dus au couplage du faisceau principal
50,2-50,4 GHz (SETS)	50,4-51,4 GHz (SFS, SMS)↑	Risque de problèmes dus au couplage du faisceau principal
52,6-52,8 GHz (SETS)	51,4-52,6 GHz (service fixe)	Numéro 5.547 du RR

SIS: service inter-satellites

SRN: service de radionavigation

SRNS: service de radionavigation par satellite.