

RECOMMANDATION UIT-R SA.1260-1*

Possibilité de partage de fréquences entre les capteurs spatiaux actifs et les systèmes d'autres services fonctionnant entre 420 et 470 MHz

(Question UIT-R 218/7)

(1997-2003)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les radars à ouverture synthétique permettent de mesurer l'humidité du sol, la biomasse forestière, de détecter les structures géologiques enterrées (failles, fractures, synclinaux, anticlinaux, etc.), de cartographier et de mesurer l'épaisseur de la glace de l'Antarctique ainsi que les propriétés hydrogéologiques des régions arides et semi-arides;
- b) qu'on a montré que les radars à ouverture synthétique expérimentaux installés sur des aéronefs permettaient d'effectuer ces mesures;
- c) que ces radars spatioportés à ouverture synthétique doivent fonctionner à des fréquences inférieures à 500 MHz pour pouvoir pénétrer la végétation dense et la surface de la Terre de façon répétitive à l'échelle mondiale;
- d) que la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), qui s'est tenue en 1992 à Rio de Janeiro, a souligné qu'il était nécessaire d'assurer une surveillance des forêts;
- e) qu'aux termes de la Résolution 727 (Rév.CMR-2000) on cherche à attribuer une portion de spectre allant jusqu'à 6 MHz au service d'exploration de la Terre par satellite (active) dans la bande de fréquences 420-470 MHz pour satisfaire les besoins de ce service;
- f) que les bandes de fréquences comprises entre 420 et 470 MHz sont actuellement attribuées aux services de radiolocalisation, d'amateur, d'exploitation spatiale et mobile;
- g) que dans le service d'amateur, les communications utilisant des signaux de faible intensité (y compris Terre-Lune-Terre) sont concentrées autour de 432 MHz et que les communications du service d'amateur (liaison montante et liaison descendante) se font dans la bande 435-438 MHz;

* NOTE – Les Administrations de l'Arabie saoudite, de Djibouti, d'Egypte, des Emirats arabes unis, de Jordanie, du Koweït, du Maroc, de la Mauritanie, de la République arabe syrienne, de la Tunisie et du Yémen se sont opposées à l'approbation de la présente Recommandation. Pour plus d'information, voir le procès-verbal de l'AR-03 s'y référant.

- h) que certaines parties de ces bandes sont utilisées à d'autres fins, notamment:
- les radars profileurs de vent entre 440 et 450 MHz et, en cas d'incompatibilité avec d'autres applications, dans les bandes 420-435 MHz et 438-440 MHz (Résolution 217 (CMR-97));
 - les récepteurs d'ordres d'autodestruction de lanceurs dans la bande 449,75-450,25 MHz (numéro 5.286 du Règlement des radiocommunications (RR)) ainsi qu'au voisinage de 421,0, 425,0, 427,0, 440,0 et 445,0 MHz aux Etats-Unis d'Amérique et au Brésil et, dans les départements français d'outre mer en Région 2 et en Inde dans la bande 433,75-434,25 MHz (numéro 5.281 du RR);
- j) que certains radars spatiaux à ouverture synthétique pourraient produire des puissances surfaciques à la surface de la Terre supérieures aux niveaux de puissance surfacique qui seront peut-être nécessaires pour protéger le service fixe et le service mobile terrestre bénéficiant d'attributions dans cette gamme de fréquences;
- k) que le partage des mêmes fréquences avec les profileurs de vent doit vraisemblablement être impossible en raison des brouillages causés sur les détecteurs actifs spatioportés;
- l) que des radars à ouverture synthétique et le service d'amateur (qui a un statut primaire dans la Région 1 et un statut secondaire dans les Régions 2 et 3, sauf comme au numéro 5.278 du RR) peuvent coexister dans la bande 430-440 MHz, moyennant l'adoption des mesures techniques et opérationnelles définies dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation;
- m) que, en outre, les dispositions des numéros 5.274, 5.275, 5.276, 5.277, 5.278, 5.281 et 5.283 du RR énumèrent les pays dans lesquels les services fixe, mobile, d'exploitation spatiale et/ou d'amateur ont un statut primaire dans des parties définies de la bande 430-440 MHz;
- n) que certaines études de partage ont indiqué que le partage de mêmes fréquences entre les services d'amateur et certains radars à ouverture synthétique proposés dans le service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) est possible pour certains modes de transmission – MF et accès multiple par répartition dans le temps – des systèmes d'amateur mais qu'il serait difficile en mode ondes entretenues ou en mode bande latérale unique;
- o) que la Recommandation UIT-R M.1462 contient les caractéristiques techniques et opérationnelles ainsi que les critères de protection applicables aux radars (aéroportés, embarqués à bord de navires, de poursuite d'objets situés dans l'espace) fonctionnant dans le service de radiolocalisation, dans la bande 420-450 MHz;
- p) que certains radars spatioportés à ouverture synthétique risquent de causer des brouillages inacceptables aux radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace fonctionnant dans la bande 420-450 MHz si le radar spatioporté à ouverture synthétique se trouve dans le champ de vision des radars terrestres (c'est-à-dire au-dessus de l'horizon visible du radar);
- q) que certains radars spatioportés à ouverture synthétique seront poursuivis par des radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace et que le niveau résultant de puissance brouilleuse reçue par le radar spatioporté à ouverture synthétique peut approcher sa fonction de traitement de puissance maximale;

r) que certains radars spatioportés à ouverture synthétique risquent de causer des brouillages inacceptables aux radars aéroportés ou embarqués à bord de navires fonctionnant dans la bande 420-450 MHz dont la probabilité et la gravité dépendent beaucoup des caractéristiques des radars à ouverture synthétique;

s) que les brouillages préjudiciables causés par les radars à ouverture synthétique aux récepteurs d'autodestruction des lanceurs, même pendant de très brèves périodes, pourraient porter atteinte à la sécurité des biens et des personnes;

t) que compte tenu de la complexité de la mise en oeuvre des instruments du SETS (active) à ces basses fréquences, très peu de plates-formes de ce type devraient être sur orbite au même moment,

recommande

1 de faire en sorte que les détecteurs actifs spatioportés fonctionnant dans les bandes utilisées par le service d'amateur, le service d'amateur par satellite, le service fixe, le service de radiolocalisation, le service d'exploitation spatiale, le service mobile et le SMS dans la gamme 420-470 MHz respectent les contraintes techniques et opérationnelles indiquées dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation;

2 de faire en sorte que les détecteurs actifs spatioportés fonctionnant entre 420 et 450 MHz ne soient pas mis en service dans le champ de vision des radars terrestres de poursuite d'objets se trouvant dans l'espace énumérés dans le Tableau 2 à moins qu'il ne soit procédé à une analyse détaillée, au cas par cas, pour tenir compte des effets du traitement à bord du récepteur radar sur les signaux non désirés émis par les radars à ouverture synthétique et, éventuellement, à des essais sur le terrain pour confirmer la compatibilité, avec l'accord mutuel des administrations affectées;

3 de faire en sorte qu'un radar à ouverture synthétique destiné à fonctionner dans la bande 420-450 MHz soit conçu de façon à tolérer les niveaux de puissance des signaux non désirés émis par les radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace;

4 de considérer qu'il serait peut-être nécessaire de prévoir un espacement en fréquence et un espacement géographique suffisant entre les radars spatioportés à ouverture synthétique et les radars profileurs de vent fonctionnant dans les bandes 420-432 MHz et 438-450 MHz.

5 de choisir les bandes de fréquences attribuées aux détecteurs actifs spatioportés de façon à ce qu'il n'y ait pas de chevauchement avec celles des récepteurs d'autodestruction de lanceurs énumérés au point h) du *considérant*.

6 dans les cas où il est difficile de mettre en oeuvre le point 5 du *recommande* de ne pas exploiter les détecteurs actifs spatioportés fonctionnant dans les bandes de fréquences attribuées aux récepteurs d'ordres d'autodestructions de lanceurs à moins d'une certaine distance des emplacements où les commandes de lanceurs sont utilisées afin d'éviter que les détecteurs actifs spatioportés causent des brouillages aux récepteurs des lanceurs.

Annexe 1

Contraintes techniques et opérationnelles applicables aux systèmes du SETS (active) fonctionnant entre 420-470 MHz

Pour protéger les stations fonctionnant dans les services existants, les émissions des radars à ouverture synthétique du SETS (active) fonctionnant dans la gamme de fréquences 420-470 MHz doivent respecter les contraintes techniques et opérationnelles spécifiées dans la présente Annexe.

Ces contraintes sont basées sur les études de l'UIT-R. L'Annexe 2 donne des informations sur les possibilités de partage entre les détecteurs actifs spatioportés et d'autres services entre 420-470 MHz.

1 Contraintes techniques

TABLEAU 1

Contraintes techniques applicables aux instruments du SETS (active) fonctionnant entre 420-470 MHz

Paramètre	Valeur
Puissance surfacique de crête à la surface de la Terre produite dans le lobe principal de l'antenne	-140 dB(W/(m ² · Hz))
Puissance surfacique moyenne maximale à la surface de la Terre produite dans le lobe principal de l'antenne	-150 dB(W/(m ² · Hz))
Puissance surfacique moyenne maximale à la surface de la Terre produite dans le premier lobe latéral de l'antenne	-170 dB(W/(m ² · Hz))

2 Contraintes opérationnelles

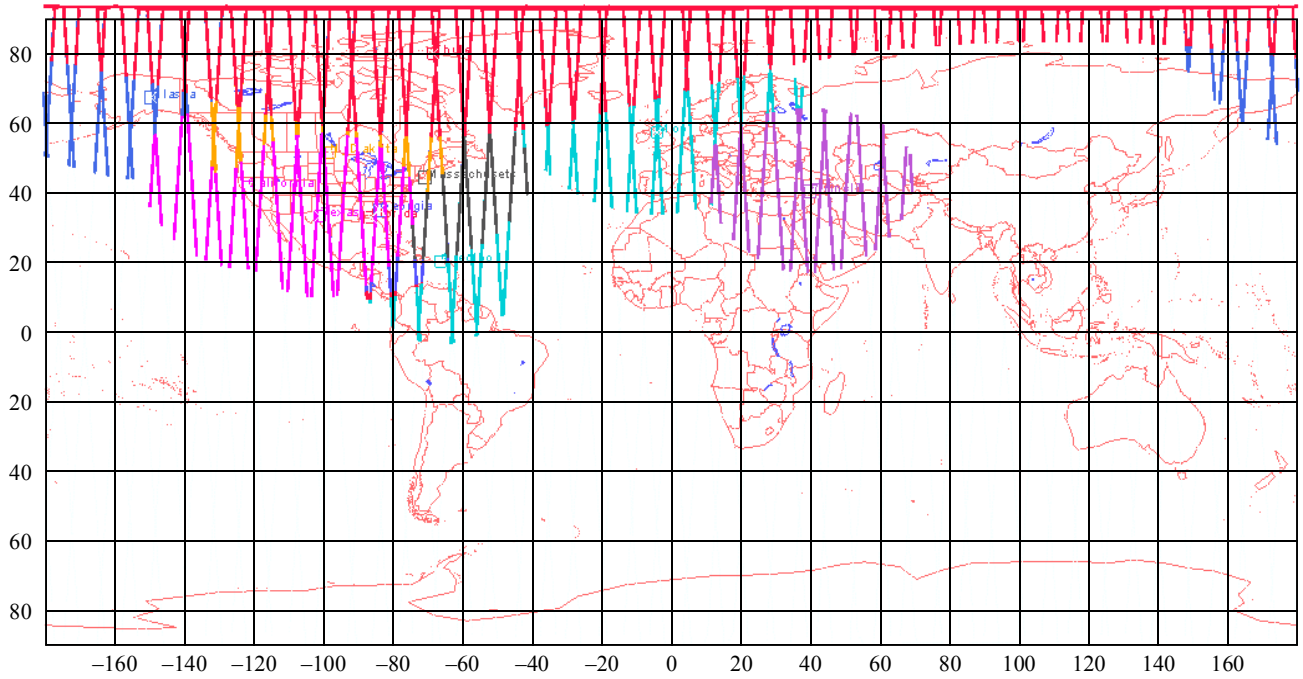
Les instruments du SETS (active) fonctionnant dans la bande 420-450 MHz ne doivent pas émettre dans le champ de vision des radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace, énumérés dans le Tableau 2, à moins qu'il n'ait été procédé à une analyse détaillée pour tenir compte des effets du traitement à bord du récepteur radar sur les signaux non désirés émis par le radar à ouverture synthétique et éventuellement à des essais sur le terrain pour confirmer la compatibilité.

Compte tenu de ces contraintes, les instruments du SETS (active) doivent être conçus de façon à pouvoir programmer une cessation de toutes les émissions RF sur des zones géographiques ou dans des pays où les règlements de l'UIT ou des règlements nationaux n'autorisent pas leur exploitation.

L'exploitation des instruments du SETS (active) doit être axée sur des campagnes d'observations, ciblée sur des zones géographiques bien précises et la durée pendant laquelle ces instruments sont actifs doit être limitée au minimum requis pour atteindre les objectifs des campagnes. Par conséquent, pour effectuer ces mesures les instruments ne doivent pas fonctionner en permanence et plusieurs mois peuvent s'écouler entre des campagnes de mesures successives dans la même zone.

Le facteur d'utilisation des instruments fonctionnant en mode campagnes d'observations sera de 15% au maximum (en règle générale 10%). Lorsqu'ils ne sont pas en mode campagnes, les instruments seront mis hors tension.

FIGURE 1
 Exemple de zone d'exclusion autour de radars de poursuite d'objets situés dans l'espace
 dans le cas d'un radar à ouverture synthétique sur une orbite de 550 km d'altitude



1260-01

TABEAU 2

**Radars de poursuite d'objets situés dans l'espace fonctionnant
 dans la bande 430-440 MHz**

Localisation du radar	Latitude	Longitude
Massachusetts (Etats-Unis d'Amérique)	41,8° N	70,5° W
Texas (Etats-Unis d'Amérique)	31,0° N	100,6° W
Californie (Etats-Unis d'Amérique)	39,1° N	121,5° W
Georgie (Etats-Unis d'Amérique)	32,6° N	83,6° W
Floride (Etats-Unis d'Amérique)	30,6° N	86,2° W
Nord Dakota (Etats-Unis d'Amérique)	48,7° N	97,9° W
Alaska (Etats-Unis d'Amérique)	64,3° N	149,2° W
Thule (Groenland)	76,6° N	68,3° W
Fylingdales Moor (Royaume-Uni)	54,5° N	0,4° W
Pirinclik (Turquie)	37,9° N	40,0° E

3 Critères de protection applicables aux services fonctionnant dans la bande 420-470 MHz

Tous les critères de protection mentionnés dans le présent paragraphe ne figurent pas dans des Recommandations de l'UIT-R. Par conséquent, certains d'entre eux ont été établis à partir de données extraites d'études de l'UIT-R. Le Tableau 3 reflète les données disponibles au moment où la présente Recommandation a été élaborée.

Il convient de noter que toute future Recommandation décrivant les critères de protection applicables à un service donné quelconque prévaudra sur les valeurs données dans le Tableau, telles qu'elles ont été établies à partir d'études de l'UIT-R.

TABLEAU 3

Critères de protection applicables aux services fonctionnant entre 420-470 MHz

Gamme de fréquences (MHz)	Services de l'UIT-R	Pourcentages de temps et critères dans les colonnes 4 et 5 à appliquer uniquement dans les zones géographiques suivantes	Pourcentage de temps maximal pendant lequel le critère peut être dépassé ⁽¹⁾	Critère de brouillage au niveau des stations de réception	Sources
430-440	Amateur	Dans le champ de vision des stations terrestres d'amateur situées dans les régions définies au <i>considérant l)</i>	1%	Puissance surfacique = $-204 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}^{(2)}$	Etudes de l'UIT-R
435-438	Amateur par satellite	Dans le champ de vision des stations terrestres du service d'amateur par satellite situées dans les régions définies au <i>considérant l)</i>	1%	Puissance surfacique = $-197 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$	Etudes de l'UIT-R
435-438	Amateur satellite	Dans le champ de vision des récepteurs des stations spatiales du service d'amateur	1%	Puissance surfacique = $-187 \text{ dB (W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$	Etudes de l'UIT-R
420-470 ⁽³⁾	Fixe	Dans le champ de vision des stations du service fixe, y compris les stations situées dans les régions définies au <i>considérant m)</i>	Sans objet	$(I/N)_{\text{MOYEN}} = -20 \text{ dB}$ (équivalent à une dégradation relative à la qualité de fonctionnement de 1%)	Rec. UIT-R F.758 et UIT-R F.1108
420-432 et 438-450	Radiolocalisation	Dans le champ de vision des radars profileurs de vent	⁽⁴⁾	$(I/N)_{\text{CRÊTE}} = -6 \text{ dB}$	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Exploitation spatiale	Dans le champ de vision des récepteurs d'autodestruction de lanceurs situés dans les régions définies au <i>considérant m)</i>	Espacement en fréquence ou espacement géographique requis		Etudes de l'UIT-R

TABLEAU 3 (fin)

Gamme de fréquences (MHz)	Services de l'UIT-R	Pourcentages de temps et critères dans les colonnes 4 et 5 à appliquer uniquement dans les zones géographiques suivantes	Pourcentage de temps maximal pendant lequel le critère peut être dépassé ⁽¹⁾	Critère de brouillage au niveau des stations de réception	Sources
420-450	Radiolocalisation	Dans le champ de vision des radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace ⁽⁵⁾	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CR\acute{E}TE} = -6$ dB	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Radiolocalisation	Dans le champ de vision des radars embarqués à bord de navires	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CR\acute{E}TE} = -6$ dB	Rec. UIT-R M.1462
420-450	Radiolocalisation	Dans le champ de vision des radars aéroportés	⁽⁴⁾	$(I/N)_{CR\acute{E}TE} = -6$ dB	Rec. ITU-R M.1462
420-470 ⁽³⁾	Mobile	Dans le champ de vision des stations mobiles, y compris les stations situées dans les Régions définies au <i>considérant</i> m)	0,1%	Puissance surfacique = -204 dB(W/(m ² · Hz)) ⁽²⁾	Etudes de l'UIT-R

⁽¹⁾ Compte tenu de tous les radars spatioportés à ouverture synthétique actifs dans cette gamme de fréquences.

⁽²⁾ La puissance surfacique cumulative maximale spécifiée pour la bande 430-440 MHz a été établie à partir du niveau de brouillage acceptable maximum reçu dans le lobe latéral moyen d'une antenne de réception du service d'amateur.

⁽³⁾ Dans la gamme de fréquences 430-440 MHz, les services fixe et mobile bénéficient d'attributions uniquement dans certains pays, dans le cadre d'un renvoi.

⁽⁴⁾ Le critère donné dans la Recommandation UIT-R M.1462 est basé sur la protection des systèmes de radiolocalisation contre les brouillages assimilables à du bruit. Le partage peut être possible entre les systèmes de radiolocalisation et les détecteurs actifs spatioportés, à des niveaux de brouillage supérieurs à ceux donnés dans la Recommandation UIT-R M.1462 si l'on utilise des techniques de traitement du signal pour filtrer les rayonnements non désirés pulsés. La Recommandation UIT-R M.1372 décrit certaines de ces techniques de suppression des brouillages.

⁽⁵⁾ Les instruments du SETS (active) fonctionnant dans la bande 420-450 MHz ne doivent pas émettre dans le champ de vision des radars terrestres de poursuite d'objets situés dans l'espace énumérés dans le Tableau 2, à moins qu'il ait été procédé à une analyse détaillée, au cas par cas, pour tenir compte des effets du traitement à bord du récepteur radar sur les signaux non désirés émis par les radars à ouverture synthétique et éventuellement à des essais sur le terrain pour confirmer la compatibilité, avec l'accord mutuel des administrations affectées.

Annexe 2

Méthode d'évaluation et de limitation des brouillages

1 Introduction

La méthode présentée permet de procéder à une estimation pour savoir si les signaux non désirés émis d'un détecteur actif spatioporté et reçus par d'autres services dans la bande 420-470 MHz peuvent poser des problèmes en cas d'exploitation dans des bandes de fréquences communes. Une bonne partie de la présente Annexe est tirée de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R SA.1280 – Choix des caractéristiques d'émission des capteurs actifs spatioportés visant à atténuer les risques de brouillage causé aux radars terrestres fonctionnant dans les bandes comprises entre 1 et 10 GHz. Les calculs portent essentiellement sur un certain nombre de paramètres du détecteur dont les valeurs peuvent être choisies de manière à améliorer la situation de partage.

2 Calcul du brouillage causé à d'autres services

La puissance surfacique moyenne du signal brouilleur, I_{pfd} (dB(W/(m² · Hz))) et le niveau de puissance moyen du signal brouilleur, I (dBW), reçus par les autres services en provenance de détecteurs actifs spatioportés sont donnés par la formule:

$$I_{pfd} = 10 \log P_t + 10 \log (\tau PRF) + G_t - (130,99 + 20 \log R + 10 \log B) + OTR - PG \quad (1a)$$

et

$$I = 10 \log P_t + 10 \log (\tau PRF) + G_t + G_r - (32,44 + 20 \log (fR)) + OTR - PG \quad (1b)$$

où:

P_t : puissance de crête d'émission du détecteur spatioporté (W)

τ : largeur des impulsions du détecteur spatioporté (s)

PRF : fréquence de récurrence des impulsions du détecteur spatioporté (Hz)

G_t : gain de l'antenne du détecteur spatioporté dans la direction de l'autre service (dBi)

R : distance oblique entre le détecteur et le radar (km)

B : largeur de bande du détecteur (MHz)

OTR : rejet à la fréquence d'accord (*receiver on-tune rejection*) du récepteur (dB)

PG : gain de traitement (dB), élimination des signaux non désirés apportée par le système de traitement du signal à bord du récepteur (supposé être nul s'il n'est pas connu)

f : fréquence (MHz).

L'équation (1a) donne le niveau de puissance surfacique moyen du signal brouilleur et l'équation (1b) le niveau de puissance moyen du signal brouilleur. Le niveau de puissance moyen du signal brouilleur est utilisé lorsqu'on peut déterminer qu'il convient de le faire: par exemple un radar qui effectue une transformée de Fourier rapide sur le signal reçu va «étaler» les différentes composantes du signal pulsé sur un certain nombre de secteurs, ce qui équivaut à un moyennage du niveau du signal brouilleur reçu. Le terme rejet à la fréquence d'accord est donné par la formule:

$$OTR = 10 \log (B_r/B_t) \quad \text{pour } B_r \leq B_t \quad (2a)$$

$$= 0 \quad \text{pour } B_r > B_t \quad (2b)$$

où:

B_r : largeur de bande du récepteur;

B_t : largeur de bande du signal brouilleur émis.

Si le signal brouilleur de crête est le signal considéré, le deuxième terme de l'équation (1) doit être ignoré et le rejet à la fréquence d'accord est calculé à partir des équations suivantes:

Impulsion d'entrée sans modulation de fréquence:

$$OTR = 20 \log (B_r \tau) \quad \text{pour } B_r \tau < 1 \quad (3a)$$

$$= 0 \quad \text{pour } B_r \tau > 1 \quad (3b)$$

Impulsion d'entrée avec modulation de fréquence:

$$OTR = 10 \log \left(\frac{B_r^2 \tau}{B_c} \right) \quad \text{pour } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} < 1 \quad (4a)$$

$$= 0 \quad \text{pour } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} > 1 \quad (4b)$$

où:

B_r : largeur de bande FI du récepteur de l'autre service

B_c : largeur de bande de modulation du détecteur spatioporté

τ : largeur des impulsions du détecteur.

3 Critères de brouillage applicable à d'autres services

Les critères applicables à des systèmes particuliers d'autres services sont donnés dans le Tableau 1 en termes de limites maximales de puissance surfacique cumulative relevées au niveau des récepteurs (dB(W/(m² · Hz))) et également en termes de pourcentage de temps maximal pendant lequel les limites de puissance surfacique peuvent être dépassées. Il existe plusieurs exemples pour lesquels un critère différent est utilisé.

3.1 Radars de surveillance du service de radiolocalisation

On suppose que le rapport S/N à la réception des radars de surveillance ne peut pas être dégradé de plus de 0,5 dB pendant un temps égal à une scrutation arbitrairement fixée à 10 s. Cela correspond à un rapport des puissances I/N de -9 dB au niveau de l'étage FI du récepteur. On considère que le niveau de puissance moyen du signal brouilleur est un paramètre intéressant dans le cas des radars de surveillance.

3.2 Radars de poursuite du service de radiolocalisation

Les radars de poursuite utilisent souvent des «portes distance» afin d'exclure tous les échos qui ne correspondent pas aux distances spécifiques observées. Une considération importante pour déterminer la sensibilité d'un radar de poursuite à un train d'impulsions brouilleuses est la proportion des impulsions brouilleuses qui coïncident avec la porte distance. La coïncidence des impulsions brouilleuses avec la porte distance dépendra de la façon dont les fréquences de récurrence des impulsions utiles et brouilleuses sont liées (Cas I) ou non (Cas II) par des multiples entiers. La proportion des impulsions coïncidentes, f_c , est donnée par les formules suivantes:

$$f_c = \frac{GCF(PR F_i, PR F_g)}{PR F_g} \quad \text{pour le Cas I} \quad (5a)$$

$$f_c = PR F_i(\tau_g + \tau_i) \quad \text{pour le Cas II} \quad (5b)$$

où:

$PR F_i$: fréquence de récurrence des impulsions brouilleuses

$PR F_g$: fréquence de récurrence de la porte

$GCF (PR F_i, PR F_g)$: plus grand facteur commun de $PR F_i$ et $PR F_g$

τ_i : largeur des impulsions brouilleuses

τ_g : largeur de la porte.

Il convient de noter que lorsque $\tau_i > \tau_g$ et que les fréquences PRF utile et brouilleuse ne sont pas liées par des multiples entiers (Cas II), f_c correspond approximativement au coefficient d'utilisation des impulsions brouilleuses. On considère que cette situation correspond au cas général et on l'utilise pour déterminer le seuil de dégradation pour un radar de poursuite.

Pour pouvoir déterminer très précisément la position des cibles, les radars de poursuite utilisent des antennes à gain très élevé avec des faisceaux principaux étroits bien définis. Un mécanisme permet d'asservir l'axe de visée du faisceau principal de l'antenne sur la cible; cet asservissement est commandé par un signal d'erreur produit par l'erreur angulaire entre la cible et l'axe de visée de l'antenne. Les signaux non désirés captés par le radar peuvent augmenter cette erreur.

Un seuil de dégradation pour un radar de poursuite exprimé sous forme de fraction admissible d'impulsions brouilleuses coïncidentes, f_c , en fonction du rapport S/I à la sortie FI du récepteur est donné par les formules suivantes:

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{quand } S/I > 1 \quad (6a)$$

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{quand } S/I < 1 \quad (6b)$$

où:

a : facteur associé à l'erreur de poursuite totale qui tient compte de la dégradation due au brouillage (par exemple une valeur de $a = 1,1$ donne une augmentation de 0,1%, ou de 10% due au brouillage)

B_r : largeur de bande à 3 dB du filtre FI du radar

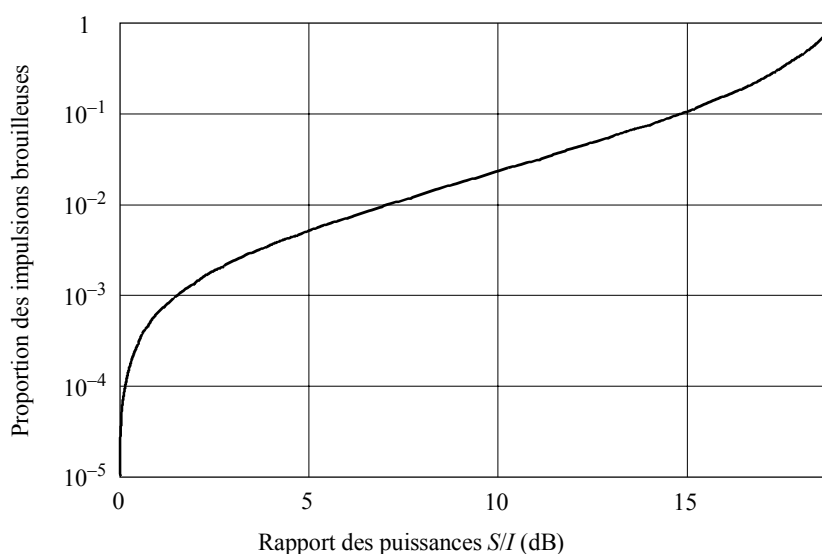
τ : durée des impulsions renvoyées par la cible (on notera que $B_r \tau \cong 1$ pour un radar de poursuite)

S/I : rapport puissance du signal/brouillage à la sortie FI du radar (non exprimé en dB).

La courbe de la Fig. 2 représente la proportion des impulsions coïncidentes en fonction du rapport S/I à la sortie FI du récepteur, correspondant à une augmentation de 10% de l'erreur de poursuite du radar due au brouillage. Cette proportion est égale approximativement au coefficient d'utilisation du détecteur (6%) de sorte qu'un rapport S/I de 13 dB correspond à une erreur de poursuite de 10%. On supposera que le rapport S/I doit être ≥ 13 dB pour des périodes de temps de plus de 3 s. (Etant donné que le critère de brouillage a été établi sur la base d'une impulsion brouilleuse coïncidente avec la porte distance du radar, il convient d'utiliser la puissance de crête du signal brouilleur.)

FIGURE 2

Rapport S/I du radar en fonction de la proportion des impulsions brouilleuses coïncidentes
(augmentation de 10% de l'erreur de poursuite)



1260-02

4 Exemple d'analyse d'un signal émis par un détecteur spatioporté et brouillant d'autres services

4.1 Caractéristiques techniques

4.1.1 Détecteur spatioporté

Le Tableau 4 donne les caractéristiques d'un détecteur spatioporté représentatif utilisé dans l'analyse ci-après.

TABLEAU 4

Caractéristiques du radar spatioporté à ouverture synthétique 1 (SAR1)

Paramètres	Valeur
Altitude de l'orbite (km)	750
Inclinaison de l'orbite (degrés)	98,4
Puissance RF de crête rayonnée (W)	400
Puissance RF moyenne rayonnée (W)	4,4
Largeur des impulsions (μ s)	50
PRF (Hz)	2 200
Modulation des impulsions	MF linéaire
Largeur de bande des impulsions (MHz)	4,8
Gain d'antenne crête (dB)	27,9
Orientation de l'antenne (degrés)	37 par rapport au nadir
1 ^{er} lobe latéral de l'antenne (dB)	-17,6 par rapport à la valeur crête
5 ^{ème} lobe latéral de l'antenne (dB)	-34 par rapport à la valeur crête

4.1.2 Radars aéroportés

La Recommandation UIT-R M.1462 donne les caractéristiques et les critères de protection applicables aux radars fonctionnant dans la bande de fréquences 420-450 MHz. Des analyses antérieures ont permis de conclure que les détecteurs actifs spatioportés ne sont pas techniquement compatibles avec des radars terrestres très sensibles de poursuite d'objets situés dans l'espace.

Dans l'analyse des simulations informatiques, on a examiné la compatibilité entre les radars spatioportés à ouverture synthétique et les radars aéroportés fonctionnant dans cette bande de fréquences. Les résultats pour les radars embarqués à bord de navires sont analogues à ceux pour les radars aéroportés. Le projet de nouvelle Recommandation indique que la largeur de bande du récepteur du détecteur aéroporté est de 1 MHz et que l'antenne du radar est une antenne plan présentant un gain de 22 dBi. Pour les besoins de l'analyse, on a supposé que l'antenne scrutait en azimut avec un angle d'élévation de 0°. Le rapport I/N pour les radars correspond à un rapport I/N de -6 dB.

4.2 Méthode d'analyse et résultats

4.2.1 Simulations informatiques

4.2.1.1 Gain de traitement

Dans l'analyse des brouillages que les radars spatioportés à ouverture synthétique pourraient causer aux récepteurs du service de radiolocalisation, on a supposé qu'il n'y avait aucun gain de traitement (en d'autres termes, possibilité de rejeter le brouillage dû au traitement du signal dans le récepteur). Pour les systèmes de radiolocalisation, il peut être judicieux d'examiner la réaction éventuelle du récepteur à des signaux brouilleurs pulsés comme ceux émis par des radars à ouverture synthétique.

Les détails de la résistance d'un radar à des signaux brouilleurs pulsés ne sont en règle générale pas connus. Toutefois, de nombreux récepteurs radars modernes, en particulier ceux qui doivent exécuter une fonction de surveillance en présence d'un fouillis important procéderont à un traitement Doppler numérique pour localiser des cibles dans le fouillis de fond. L'effet d'une transformée rapide de Fourier sur le brouillage entrant pulsé sera «d'étaler» la puissance pulsée de crête sur les intervalles distance/Doppler voisins, ce qui se traduira par une moyenne de la puissance brouilleuse.

4.2.1.2 Critère de brouillage pour les radars

Un rapport I/N de -6 dB est donné comme critère de protection pour les radars aéroportés dans la Recommandation UIT-R M.1462. Aucun pourcentage/durée de temps admissible n'est donné pendant lequel le brouillage pourrait dépasser cette valeur. Il n'est pas judicieux d'appliquer le concept de pourcentage de temps admissible pendant lequel le brouillage peut dépasser cette valeur aux radars et, en particulier, aux radars de surveillance comme les radars aéroportés pris en considération dans la présente analyse. Le concept de perte de données ou «d'interruption» autorisée peut être appliqué à une liaison de communication ou à un détecteur mais la détection de la cible – fonction de base essentielle d'un radar – intervient à un instant donné du temps et donc les interruptions longues ne sont pas pertinentes.

Une méthode utilisée dans un certain nombre d'analyses analogues de l'UIT-R consiste à examiner les résultats des simulations en partant de l'hypothèse que le fonctionnement d'un radar de surveillance ne peut pas être dégradé pendant une période de temps dépassant une scrutation. Cela signifie qu'une cible peut ne pas être détectée pendant la première scrutation que le radar peut par ailleurs avoir accomplie avec succès. Le temps de rotation des antennes radars aéroportés pris en considération dans la présente analyse est de l'ordre de 10 s. Par conséquent, le brouillage ne devrait pas dépasser le rapport $I/N = -6$ dB pendant plus de 10 s. (Dans cette hypothèse, une cible se

déplaçant à une vitesse de 800 km/h en approche une autre environ 2 km après la détection, en l'absence de brouillage, ce qui peut être acceptable ou non selon la situation.) Il ressort d'un examen des résultats des simulations (utilisant à la fois la puissance brouilleuse de crête et la puissance brouilleuse moyenne reçues par les radars) que le partage des fréquences peut être difficile entre les radars spatioportés à ouverture synthétique et les radars.

4.2.1.3 Résultats des simulations informatiques

Les simulations ont été effectuées avec un radar de type SAR1 (voir le Tableau 5). Le Tableau 6 donne les résultats de simulations informatiques des brouillages qu'un radar SAR1 peut causer à des systèmes du service de radiolocalisation. Toutes les simulations ont été conduites par incrément de temps de 2 s sur une période de 60 jours. On notera que deux résultats concernant le pourcentage de temps pendant lequel il y a brouillage sont également donnés dans le Tableau 6.

Le premier est le pourcentage de temps pendant lequel le critère de brouillage est dépassé lorsqu'un radar à ouverture synthétique ou plus sont visibles (au-dessus de l'horizon) depuis la ou les stations terriennes et le second est le pourcentage de temps pendant lequel le critère de brouillage est dépassé sur l'ensemble de la période retenue pour la simulation (y compris les moments pendant lesquels aucun radar à ouverture synthétique n'est visible sur certaines portions de la Terre).

TABLEAU 5

Puissance surfacique brouilleuse de crête/moyenne provenant des lobes principaux et des lobes latéraux d'un radar SAR1 fonctionnant dans la bande P à la surface de la Terre

Paramètre	Valeur	dB
Puissance émise (W)	400,00	26,02
Gain d'antenne crête du lobe principal (dBi)	27,90	27,90
Niveau des lobes latéraux d'antenne (dBi)	-6,10	-6,10
$1/(4\pi)$	$7,96 \times 10^{-2}$	-10,99
$1/(\text{distance})^2$ (km)	972,80	-119,76
1/largeur de bande (MHz)	1/4,80	-66,81
Largeur des impulsions (μs)	50,00	
PRF (Hz)	2 200,00	
Densité de puissance crête dans le lobe principal (dBW)		-75,86
Densité de puissance crête dans le lobe latéral (dBW)		-109,86
Puissance surfacique crête dans le lobe principal (dB(W/(m ² · Hz)))		-143,6
Puissance surfacique moyenne dans le lobe principal (dB(W/(m ² · Hz)))		-153,2
Puissance surfacique crête dans les lobes latéraux (dB(W/(m ² · Hz)))		-177,6
Puissance surfacique moyenne dans les lobes latéraux (dB(W/(m ² · Hz)))		-187,2

TABLEAU 6

Résultats des simulations informatiques

Récepteur	Critère	SAR1
Radar aéroporté	I/N , cas le plus défavorable (dB)	36,2
	I/N , moyenne (dB)	-4,4
	Pourcentage de temps pendant lequel $I/N > -6$ dB (radar à ouverture synthétique visible) (%)	12,0
	Pourcentage de temps pendant lequel $I/N > -6$ dB (tout le temps) (%)	0,6
	Temps maximum pendant lequel $I/N > -6$ dB (min)	4,8
	Temps moyen pendant lequel $I/N > -6$ dB (s)	7,3
	Nombre de fois pendant lequel $I/N > -6$ dB (événements)	3 823

5 Procédure à suivre pour utiliser la méthode

La puissance surfacique moyenne d'un détecteur actif spatioporté devrait être examinée pendant la phase de conception. Les équations (1) à (4) peuvent être utilisées pour déterminer les paramètres susceptibles d'être corrigés pendant la conception du détecteur aéroporté pour améliorer le partage avec d'autres services. La puissance de l'émetteur, le gain de l'antenne (en particulier les niveaux des lobes latéraux), la largeur des impulsions, la fréquence de récurrence et la largeur de bande de modulation sont autant de paramètres susceptibles d'être corrigés.

Lorsqu'on analyse la compatibilité entre un détecteur spatioporté et un système d'un service particulier, il faut tenir compte du gain de traitement éventuel du système de réception étant donné que dans l'analyse on a supposé qu'il n'y en avait pas. Cette hypothèse est valable pour le cas général étant donné que toutes les stations de réception n'ont pas de gain de traitement.

Par exemple, considérons deux radars fonctionnant dans la bande 420-450 MHz:

- un radar de poursuite avec une largeur de bande FI de 0,1 MHz (radar 1);
- un radar d'interception aéroporté avec une largeur de bande FI de 1 MHz (radar 2).

Si le détecteur spatioporté du Tableau 4 peut être exploité avec une largeur d'impulsion différente et une largeur de bande de modulation analogue à celle indiquée dans le Tableau 7, le niveau de puissance du signal brouilleur peut être sensiblement réduit.

TABLEAU 7

**Exemple de réduction de la puissance brouilleuse reçue au niveau du détecteur
grâce à des modifications de la largeur des impulsions
et de la largeur de bande de modulation**

	Nouvelles valeurs de paramètre pour le radar SAR1		ΔOTR (dB)	ΔP_{avg} (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	B_c (MHz)			
Radar 1	25	6	-4,0	Non disponible ⁽¹⁾	-4,0
Radar 2	25	6	-0,0	-3,0	-3,0

⁽¹⁾ On a jugé approprié d'utiliser la puissance moyenne du signal brouilleur pour le radar aéroporté et la puissance de crête du signal brouilleur pour le radar de poursuite.

6 Conclusion

Il a été montré qu'il devrait être possible de réduire la puissance surfacique de façon à améliorer les caractéristiques d'émission des détecteurs actifs spatioportés afin d'améliorer la compatibilité avec d'autres services. La puissance de l'émetteur du détecteur, le diagramme de gain de l'antenne, la largeur des impulsions, la PRF et la largeur de bande de modulation (si on utilise la modulation de fréquence), sont autant de caractéristiques possibles qui peuvent être corrigées pour améliorer la compatibilité.